

# ریاضیات کاربرده

پرویز شهریاری





# ریاضیات کار بسته

ترجمه و تألیف: پرویز شهریاری

انتشارات همد همد (۱)

تهران، صندوق پستی ۵۴۱ - ۳۴

---

ریاضیات کاربرده

ترجمه و تألیف: پرویز شهریاری

چاپ اول: نوروز ۱۳۶۰

دو هزار نسخه در چاپخانه رامین چاپ شد

۱۶۰ ریال

## در این کتاب

۱. موضوع ریاضیات و مقام آن در دانش  
۵  
بودیس چندوف
۲. ریاضیات کاربرده و چشم انداز آینده  
۲۲  
ب. گنه دنکو
۳. کاربرد روش های ریاضی در بررسی های تاریخی  
۴۰  
ل. د. خه وستووا
۴. ریاضیات در زیست شناسی  
۶۳  
ادوارد مور
۵. ریاضیات و روان شناسی  
۸۴  
ن. ای. پوژادسکایا
۶. ریاضیات و موسیقی  
۱۰۰  
پرویز شهریاری
۷. ریاضیات و هواشناسی  
۱۳۸  
پرویز شهریاری

# موضوع ریاضیات و مقام آن در دانش

بوریس چندوف

۱

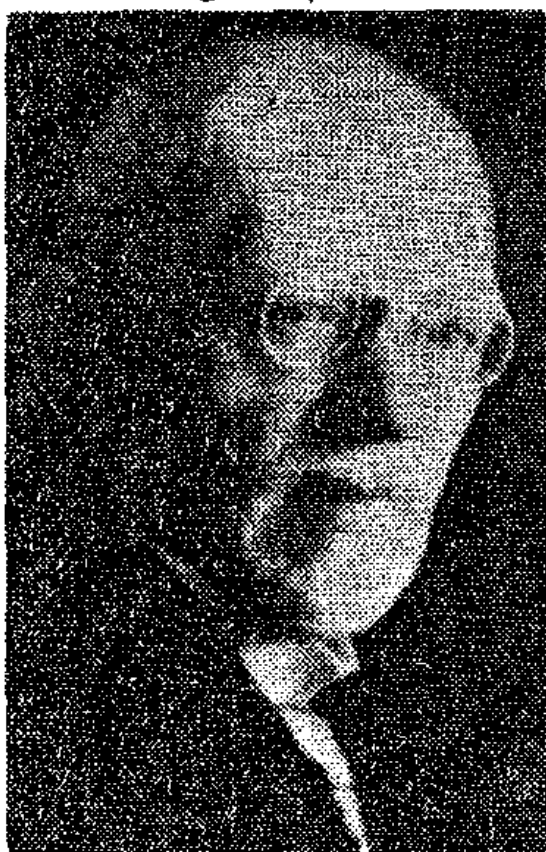
وقتی که ماهیت ریاضیات را با دید دیالکتیکی بررسی کنیم، معلوم می‌شود که ریاضیات «موجودی» است که در جریان تاریخ روبه تکامل می‌رود، زیرا ضمن پیشرفت خود، نه تنها از لحاظ محتوی غنی می‌شود و حکم‌های تازه‌ای را دربر می‌گیرد، بلکه همراه با آن، قالب آن، موضوع و روش آن، و مقام آن در مجموعه دانش‌ها هم، دچار دگرگونی می‌شود؛ ضمناً به خاطر چنین دگرگونی‌های کاملی که در صورت ظاهر ریاضیات پیش آمده است، در تاریخ آن، جهش‌هایی وجود دارد: ضمن گذار از يك مرحله تکاملی به مرحله‌ای دیگر، پیشرفت تدریجی و کمی آن دچار بریدگی شده است. با توجه به همه این‌هاست که موضوع روش‌شناسی ریاضیات در زمان ما و بررسی مسأله‌های مربوط به تکامل ریاضیات دوران معاصر - یعنی به اصطلاح ریاضیات جدید - و پیدا کردن قالب‌های عملی - تاریخی برای آن، ضرورت جدی و فوری دارد (آغاز دوران ریاضیات جدید را باید از سال‌های ۵۰ تا ۷۰ سده نوزدهم به حساب آورد).

این وضع را نباید به این مفهوم گرفت که ریاضیات جدید، چیزی به کلی متفاوت با ریاضیات یونان باستان و یا «ریاضیات کمیت‌های متغیر» سده‌های هفدهم تا نوزدهم است. در واقع، همان‌طور که «کالبدشناسی انسان، کلیدی برای فهم کالبدشناسی میمون است»، تجزیه و تحلیل ریاضیات جدید هم می‌تواند کلیدی برای درک ویژگی‌های ریاضیات دوره‌های گذشته تکامل آن باشد.

در جریان تکامل ریاضیات جدید، به تدریج این عقیده شکل می گیرد که موضوع آن، عدد، کمیت ها و شکل های فضایی، و یا مفهومی هایی که بنابر ماهیت خود تجربی هستند، نیست، بلکه ریاضیات عبارت است از ساخت هایی مجرد و رابطه هایی بین چیزهایی که طبیعت واقعی آنها معلوم نیست؛ ضمناً این رابطه ها و ساخت ها در مرز نهایی انتزاع قرار دارند و از لحاظ صوری به صورت نظری - عقلانی قابل درک هستند و به این مفهوم، به کلی از تجربه جدا شده اند.

ولی، چنین اندیشه هایی را می توان حتی در نوشته های هابس، دکارت و به خصوص لایب نیتس بزرگ - که باید او را به مناسبت های زیادی، پیش قدم درک امروزی دانش دانست - هم پیدا کرد. در واقع، در نیمه سده نوزدهم، گراسمان و بول چنین درکی از موضوع و خصلت ریاضیات را در بررسی های مشخص خود ارائه دادند و کلین هم در سال ۱۸۷۲ در «برنامه - ارلانگن» خود به آن پرداخته است.

حتی در سال ۱۹۰۱ میلادی، برتراند راسل در «تازه ترین کارها درباره مبانی ریاضیات» خود نوشت: «یکی از پیروزی های مهم ریاضی دانان اخیر،



داوید هیلبرت  
(۱۸۶۲-۱۹۴۳)

پاسخ به این پرسش است که: محتوی واقعی ریاضیات چیست». (اصل، این نقطه نظر تازه نسبت به ماهیت ریاضیات را، به طریق کاملاً خاصی، تنظیم می‌کند: «ریاضیات را می‌توان به عنوان يك جهان بینی تعریف کرد، جهان بینی که نمی‌دانیم در آن درباره چه چیزی صحبت می‌کنیم و نمی‌دانیم که آیا آنچه مورد گفتگوی ماست، درست است یا نه»<sup>۱</sup>.

(اصل کمی بعد، همین مفهوم را که، ریاضیات عبارت است از دانش رابطه‌های انتزاعی، به صورت تعریف زیر، بیان می‌کند: «ریاضیات خالص عبارت است از دسته همه گزاره‌های به صورت « $p$  مستلزم  $q$  است»، که در آن  $p$  و  $q$  گزاره‌هایی هستند شامل يك یا چند متغیر، به نحوی که این متغیرها در هر دو گزاره یکی است و نه  $p$  و نه  $q$  شامل مقدار ثابتی، جز ثابت‌های منطقی نیستند»<sup>۲</sup>.

در جریان بحث‌ها و مشاجره‌هایی که بین معرفت‌شهودی‌برادر، از يك طرف، و روش اصل موضوعی، که در شرایط این مشاجره‌های تند پیشرفت می‌کرد و به طور کامل، خصیصه‌ی صوری و علامتی داشت، از طرف دیگر، در گرفته بود، هیلبرت، در سال‌های ۲۰ تا ۳۰ سده بیستم، تصور کامل و عمیقی از ریاضیات به دست داد که بنا بر آن، ریاضیات عبارت است از يك

---

۱. این تعریف، بنا بر تفسیر ریاضی‌دانانی که در بساط آن‌ها صحبت می‌کنیم، تنها به این شرط درست است که عبارت «نمی‌دانیم در باره چه چیزی صحبت می‌کنیم»، به معنای «طبیعت واقعی چیزهایی که در باره آن‌ها گفتگو می‌کنیم، معین نیست» و عبارت «نمی‌دانیم که آیا آن چه مورد گفتگوی ماست، درست است یا نه»، به معنای «معلوم نیست که در چارچوب نظریه، موضوع قضاوت‌های ما، به طور واقعی وجود دارد یا نه» گرفته شود. اگر تمامی مطالبی را که راسل نوشته است، مطالعه کنیم، معلوم می‌شود که در آنجا روی این مطلب تأکید شده است که: ریاضیات خالص از گزاره‌های شرطی تشکیل شده است، یعنی استلزام‌هایی به صورت کاملاً مجرد و خالص و بدون توجه به درستی یا نادرستی آن‌ها. به همین مناسبت، روشن می‌شود که منظور راسل در مورد جمله‌ای که نقل کردیم، درست همان چیزی است که در بالا به آن اشاره شد.

2. B. Russell. The principles of Mathematics. Cambriges 1903, P.3.

دستگاه صوری، دستگاهی از علامت‌ها و یا ترکیبی از علامت‌ها، که به خودی خود عاری از هرگونه معنای مفهومی هستند، که رابطه‌های بین آن‌ها خصلتی کاملاً صوری دارند و به کمک قانون کاملاً تثبیت شده‌ای بیان می‌شوند: «موضوع مورد بررسی ما در ریاضیات، عبارت است از خود علامت‌های مشخص... همه گزاره‌هایی که روی هم، ریاضیات را تشکیل می‌دهند، به فرمول‌هایی تبدیل می‌شوند، به نحوی که خود ریاضیات به مجموعه‌ای از به فرمول‌ها، تبدیل می‌شود».<sup>۳</sup> با وجودی که نظر هیلبرت، به خاطر چنین فرمول‌بندی‌هایی، به طرف مسأله اثبات بی‌تناقضی نظریه‌های ریاضی جلب می‌شود، به طور پی گیر و روشنی این اندیشه را دنبال می‌کند که ریاضیات، به مطالعه دستگاه‌ها یا ساخت‌ها مربوط می‌شود، دستگاه‌ها و ساخت‌هایی که به حد اکثر انتزاع و صوری بودن، در رابطه بین عنصرهای آن‌ها، رسیده است؛ علاوه بر آن، به ویژه، لزوم درک ریاضیات به عنوان دستگاه‌های صوری و یا ساخت‌های صوری، هیلبرت را نسبت به خصلت مؤثر مسأله اصل موضوعی کردن ریاضیات، به مفهوم عادی آن، معتقد کرد و به همین مناسبت، روی اهمیت آن تأکید کرد. به این ترتیب بنا بر عقیده هیلبرت، به خاطر تجزیه و تحلیلی که در سال‌های ۲۰ تا ۳۰ سده بیستم به عمل آمد، برای نخستین بار، تفسیر ریاضیات به عنوان دانش ساخت‌ها یا دستگاه‌های صوری - انتزاعی، روشنی خود و بیان قاطع خود را، پیدا کرد. به زبان دیگر، می‌توان گفت که به خصوص این اعتقاد هیلبرت، که به موضوع مورد علاقه ما مربوط می‌شود، لحظه بریدگی تکامل را معین می‌کند، لحظه‌ای که در آن، یک جهش کیفی انجام گرفته است و تفسیر تازه‌ای از ریاضیات را به دنبال داشته است، و به عنوان مرحله‌های اساسی در مسیر این تفسیر، باید پیش از هر چیز، از اندیشه‌های لایب نیتس و داسل نام برد.

در سال‌های ۳۰ سده بیستم، درک و معنای ریاضیات، به عنوان دانش ساخت‌ها (به نحوی که در بالا آوردیم و هنوز تا حد زیادی مبهم بود)، به طور گسترده‌ای تکامل پیدا کرد. قبل از همه و به خاطر گسترش نقش قالب-

۳. داوید هیلبرت. بنیان‌های هندسه.



گرایی (و به خصوص، به خاطر کاربرد گسترده و موفقیت آمیز روش اصل موضوعی به شکل تازه آن)، در هعه شاخه های ریاضیات، قسمت عمده ای از ریاضی دانان متقاعد شدند که موضوع اختصاصی مورد بررسی آنها، عبارت از ساخت هایی است که می تواند به صورت های کاملاً متفاوتی، مورد تفسیر قرار گیرد، در این میان خود این نوع تفسیر هم با نکته های تازه ای، غنی تر می شد.

در این جا باید به گروهی از ریاضی دانان نامی فرانسوی، که زیر نام مستعار نیکلای بودباکی دور هم جمع شده اند، مقام اول را داد. برخورد با ریاضیات، به عنوان دانش ساخت ها، اساس برنامه بودباکی را در تنظیم ریاضیات جدید، تشکیل می دهد و به این ترتیب، روی یکی از مهم ترین و اثر بخش ترین جنبه های تازه آن، تأکید می شود. برای بیان قاطع این درك، هم استفاده پی گیرانه از اصطلاح «ساخت» در دستگاه های ریاضی و هم وارد کردن اصطلاح «ساخت ریاضی» اهمیت جدی دارد، مثلاً در گزاره های: «باموضوع های ریاضی واحد... ساخت های ریاضی به دست می آید»<sup>۴</sup> «ریاضیات عبارت است از مجموعه ای از شکل های انتزاعی ساخت های ریاضی».<sup>۵</sup> درك این تغییر در موضوع ریاضیات دوران معاصر، یعنی در مرحله جدید تکاملی آن، به صورت های مختلف، در نوشته های بسیاری از ریاضی-

۴. ن. بودباکی. معماری ریاضیات.

۵. احتمالاً، این یادآوری لازم باشد که ظاهراً، خصلت اصطلاح بودن گزاره هایی که در این جا نام برده ایم، بهانه ای برای بعضی از مؤلفین شده است که، به اعتقاد ما تفسیر سطحی و نادرستی از ریاضیات داشته باشند و آن را به عنوان دانش ساخت ها، به مفهوم کاملاً کلی آن بفهمند. و طبعاً این استنباط خود را هم زیر نام بودباکی انتشار می دهند. بررسی کارهای بودباکی ثابت می کند که درك ریاضیات به عنوان دانش ساخت ها (ویا ساخت های ریاضی) را باید تنها به معنای حالت خاص و نوع مشخص آن و بنا بر این، به عنوان نکته ای از روند تکاملی درك کلی ریاضیات به عنوان دانش ساخت ها (یا دانش رابطه ها و دستگاه های انتزاعی) گرفت و این تعبیری است که باید آغاز آن را از میانه های سده نوزدهم دانست، که پیش قدمان آن را می توان در مرحله تکاملی قبلی ریاضیات و فلسفه پیدا کرد.

دانانی که در موضع دیالکتیکی هستند، مثل س. آ. یائوسکی،<sup>۶</sup> آ. ن. کولموگوروف،<sup>۷</sup> پ. س. الکساندروف،<sup>۸</sup> آ. گ. کورش،<sup>۹</sup> ای. و. آرنولد<sup>۱۰</sup> و دیگران، دیده می‌شود.

### ۳

به عنوان تأیید تجربی، قبول می‌کنیم که درک ریاضیات همچون دانش ساخت‌های مجرد (یا دانش رابطه‌ها و دستگاه‌های مجرد)، به صورتی که در آغاز بند قبل بیان کردیم، جنبه مشخصی از تکامل ریاضیات جدید را منعکس می‌کند. و این، پایه‌ای است برای این که تفسیر یادشده را به عنوان فرضیه‌ای که به اندازه کافی به حقیقت نزدیک است، مورد بررسی قرار دهیم. و از نظر محتوی، چنان خصلت اساسی برای آن قایل باشیم که آن را شایسته تحقیق بدانیم.

در این جا باید بلافاصله این مطلب را یادآوری کنیم که تحقیق در مورد موقعیتی که چنین نظری - انتزاعی است، از نظر کیفی و ماهیتی، بسیار پیچیده‌تر از تحقیق درباره حکمی است که مثلاً به این صورت تنظیم شده باشد: «مس، برای جریان برق، هادی خوبی است». منظور این نیست که تحقیق درباره این حکم، به هیچ وجه با دشواری‌هایی همراه نیست، ولی دست کم می‌توان آزمایشی ترتیب داد، که نتیجه آن دقیقاً درستی این حکم را در شرایط عادی تأیید کند، و آگاهی‌هایی که از این راه به دست می‌آید، راهنمای ما در حل بسیاری از موقعیت‌های عملی باشد. در حالی که، در مورد فرضیه مورد نظر ما، امکان انجام چنین تحقیقی وجود ندارد. البته، از این موضوع

---

۶. س. آ. یائوسکی «گروهبندی کیفی از نظر هگل و ماهیت ریاضیات».

۷. آ. ن. کولموگوروف. «ریاضیات امروزی».

۸. پ. س. الکساندروف. «درباره جریان‌های فکری ریاضی، که به مناسبت نظریه مجموعه‌ها به وجود آمده است».

۹. آ. گ. کورش. «دیدگاه‌های امروزی جبر».

۱۰. ای. و. آرنولد «حساب نظری».

نباید این نتیجه نادرست را گرفت که نظریه مفروض، به هیچ وجه تن به تحقیق عملی نمی‌دهد.

ما فکر می‌کنیم که برای تحقیق فرضیه‌ای که بنابراین، موضوع مورد بررسی ریاضیات جدید، گونه‌های متفاوت ساخت‌هاست، می‌توان و باید از روش اصل‌ها (پوستولات‌ها)، استفاده کرد. و این به معنای آنست که با تنظیم جنبه‌های اساسی این فرضیه به صورت اصل‌ها می‌توان به طور منظم نتیجه‌هایی از آن‌ها به دست آورد، تا جایی که به نتیجه‌گیری‌هایی برسیم که دیگر در عمل کاربردی نداشته باشند و با حقیقت‌های مربوط به تکامل ریاضیات، به مقابله برخیزند.

حتی اگر تصویری کلی درباره تفسیری که در بند ۲ کردیم، داشته باشیم، معلوم می‌شود که به خاطر غنای محتوی آن، ناچاریم دیدگاه تازه‌ای نسبت به روش ساخت نظریه ریاضی، به رابطه آن با واقعیت، به اهمیت عملی آن به مقامی که در مجموعه دانش بشری دارد و... پیدا کنیم. ولی، اگر قرار باشد که از این روش استفاده کنیم، یعنی اگر کوشش کنیم تا با این روش «کار کنیم» لازم است، به دقت ترک کردن پیردازیم، تا ابهامی را که در محتوی آن



لایب نیتس

وجود دارد، از بین ببریم.

قبل از همه باید توجه کنیم که مفهوم‌های «رابطه»، «دستگاه» و «ساخت» به‌خودی‌خود، موضوع خاصی را که تنها اختصاص به ریاضیات داشته باشد، بیان نمی‌کنند؛ رابطه، دستگاه و ساخت، در دانش‌های دیگر هم مورد مطالعه قرار می‌گیرند. به کار گرفتن صفت «انتزاعی» به عنوان قیدی که غیرمشخص بودن طبیعت عنصرهای مورد بررسی ریاضیات را نشان دهد، به‌خودی‌خود، به هیچ وجه آن‌ها را دقیق‌تر نمی‌کند؛ خود این مفهوم‌ها نیاز به توضیح دارند.

۴

نوبت اول را باید به مفهوم «ساخت» داد.

مفهوم ساخت، به عنوان عنصری از زبان محاوره‌ای روزانه (و هم به عنوان يك مقوله فلسفی)، معنایی مبهم، کش‌دار و قابل انعطاف دارد و می‌توان آن را همچون مجموعه‌ای از مفهوم‌های دقیق، ولی مختلف، مورد بررسی قرار داد. اصل معنای مفهومی آن را، به این ترتیب، تنظیم می‌کنیم: ساخت يك موضوع مفروض، عبارت است از، مجموعه « $n$ » محمول [جبر] موضعی ( $n = ۱, ۲, ۳, \dots$ )، که برای يك عنصر و یا يك قسمت از این موضوع، ذاتی هستند، و همچنین موضوعی به عنوان هدف (مفهوم «محمول» را در این جا به معنای مجازی آن گرفته‌ایم).

با وجود این، تأکید می‌کنیم که این برداشت، تعریف دقیقی نیست و در بهترین حالت، می‌تواند به عنوان يك تعریف آغازی به حساب آید. زیرا، این «تعریف» تنها مضمونی از مفهوم مورد بررسی ما را شرح می‌دهد که می‌تواند به عنوان نقطه آغاز تجزیه و تحلیل آن و دقیق‌تر کردن آن به شمار آید.

در فلسفه، مقوله ساخت را می‌توان به کمک کشف جای آن در دستگاه مقوله‌ها و رابطه متقابلی که با دیگر مقوله‌ها دارد، تا حد زیادی، روشن‌تر بیان کرد، که در نتیجه آن، دستگاهی از توضیح‌ها به دست می‌آید، یعنی، دستگاهی با مفهوم‌های دقیق‌تر ساخت، که مضمون تعریف آغازی را

درجهت‌های مختلف، دقیق‌تر می‌کند. روشن است که ما در این جا نمی‌توانیم به این تجزیه و تحلیل، به طور کامل و در همه جنبه‌های آن بپردازیم، و تنها به قسمت‌هایی توجه می‌کنیم که برای هدف مورد نظرمان لازم باشد: ما، مقوله ساخت را در بستگی با مقوله‌های «مشخص - مجرد» و «محتوی - قالب»، تجزیه و تحلیل می‌کنیم.

مقوله‌های «مشخص» و «مجرد»، که معمولاً به عنوان جنبه‌هایی از معرفت و ادراک به کار می‌رود، در حالت مورد نظر ما، به جنبه‌های متفاوت واقعیت حقیقی مربوط می‌شود، به نحوی که ما درباره موضوع‌های مشخص و مجرد صحبت می‌کنیم (یعنی، این مفهوم‌ها را به معنای عینی و مجازی خود به کار می‌بریم).

حالا می‌توانیم، به عنوان نخستین تقریب، تعریف‌آغازی زیر را بیاوریم: مفهوم «مشخص» از میان صفت‌های فراوانی که مربوط به چیزی است (مثل جنبه‌ها، خاصیت‌ها، اجزاء، بستگی‌های درونی و بیرونی و غیره)، آنچه را که مخصوص به این چیز است، و رابطه‌های متقابل آن‌ها را در مجموع، بیان می‌کند. درحالی که مفهوم «مجرد» جنبه‌های جداگانه‌ای را که از کل، منفرد و مجزا شده است، بیان می‌کند.

این مقوله‌ها را می‌توان از لحاظ کمیتی، درجه‌بندی کرد. در این جا، امکان آن نیست که مرحله‌های مشخص یا مجرد را از لحاظ کمیتی، ارزش‌یابی کنیم. ولی برای هدفی که داریم، این مطلب مهم است که بعضی از گونه‌ها یا سطح‌ها، یعنی بعضی مرحله‌هایی که از حداکثر مشخص به حداکثر مجرد می‌رود (و بستگی به روشنی یا ابهام عناصرها و محمول‌ها دارد)، نشان‌دهیم. ۵. مرحله صفر: حداکثر مشخص - جهان واقعی در مجموع و جامعیت خود. این جهان، منحصر به فرد است.

۱. مرحله نخست: جهان، قبل از همه، عبارت است از دستگاه موضوع‌ها (چیزها) و پدیده‌ها (روندها)، که طبیعت را به معنای خاص و معین خود، مشخص می‌کنند. اگر موضوع‌های جداگانه و پدیده‌های جداگانه را با استقلال نسبی از کل جهان در نظر بگیریم، نخستین انتزاع را انجام داده‌ایم و به چیزهایی رسیده‌ایم که در نخستین سطح تجرد، قرار دارند و

آنها را «موضوع‌های مشخص جزئی» و یا کوتاه شده آن و به طور ساده «موضوع‌های مشخص» می‌نامیم. خاصیت‌ها و رابطه‌های خاص آنها را، خاصیت‌ها و رابطه‌های مشخص (جزیی) می‌نامیم، دستگاه‌هایی از این خاصیت‌ها و رابطه‌ها، ساخت‌های مشخص جزئی و یا به طور ساده، ساخت‌های مشخص را تشکیل می‌دهند. این نوع رابطه‌ها و ساخت‌ها، و همچنین موضوع‌هایی که در این جا با عنصرها و محمول‌ها مشخص می‌شوند، دارای محتوی معینی هستند.

موضوع‌هایی از این گونه هم، از لحاظ انتزاعی بودن، مرحله‌های کمیتی مختلفی دارند: با آغاز از آن‌هایی که به حداقل انتزاع (مرحله صفر) نزدیک هستند، مثل «سازواره» (ارگانیسم) منفرد مفروضی با به حساب آوردن همه بستگی‌های داخلی و خارجی که در آن وجود دارد، تا نمونه‌هایی که به درجه بالایی از انتزاع رسیده‌اند، مثل «ذره‌هایی که در فضای مطلقاً تهی، حرکت می‌کنند».

۲. مرحله دوم. طبیعت موضوع‌ها و پدیده‌ها، به وسیله دستگاه معینی از خاصیت‌ها و رابطه‌های داخلی و خارجی یعنی برحسب صورت‌های مختلف محمول‌ها، به معنای عینی آن‌ها، بیان می‌شود. محمول‌های عامی (خاصیت‌ها و رابطه‌ها) وجود دارد که در واقع، به موضوع مرحله نخست، طبیعت خاص‌تری نسبت می‌دهد (که ممکن است ذاتی آن‌هم باشد)، مثل رابطه‌ای که بین جزء و کل و یا بین مبنا و نتیجه‌گیری، وجود دارد. این محمول‌ها به خاطر مبهم بودن فردیت آنها (و یا دقیق‌تر، به خاطر مبهم بودن طبیعت اختصاصی محمول‌ها)، موضوع‌هایی هستند که در مرحله دوم انتزاع قرار دارند و ما آن‌ها را «موضوع‌های مشخص عام» و یا ساده‌تر «موضوع‌های عام» می‌نامیم. در این مرحله هم باهمین روش، محمول‌ها را طوری می‌توان در نظر گرفت که طبیعت آن‌ها، دستگاه مفروضی از محمول‌های عام را به وجود آورد که در این صورت، همان ساخت مشخص عام و یا به طور ساده، ساخت عام خواهد بود. البته در اینجا هم، زمینه گسترده‌ای از مرحله‌های مختلف انتزاع و مشخص وجود دارد.

۳. مرحله سوم. خصلت ساخت‌های عام (که عبارت از موضوع‌های

مرحله دوم هستند)، به وسیله دو جنبه متضاد و دیالکتیکی، روشن می شود: (۱) خصلت کاملاً صوری آن و (۲) خصلت کاملاً مضمونی آن. براساس تجربه، روشن می کنیم که این دو جنبه، خصلت نسبتاً مستقلی دارند. به همین مناسبت، می توانیم درباره ساخت هایی صحبت کنیم که در آن ها، یکی از جنبه ها تثبیت و روی آن تأکید و از دیگر جنبه ها، به عنوان جنبه هایی که تعیین کننده نیستند، صرف نظر شده باشد. به این ترتیب، ما به مفهوم ساخت هایی رسیده ایم که در بالاترین مرحله انتزاع - مرحله سوم - قرار گرفته اند. ضمناً در این مرحله هم می توان دو کلاس را از هم جدا کرد.

در کلاس اول، ساخت هایی قرار دادند که در آن ها، جنبه صوری تثبیت و جنبه مضمونی آن ها، به عنوان جنبه ای که تعیین کننده نیست، به کلی کنار گذاشته شده است. این ساخت ها را، ساخت های صوری - انتزاعی، و عناصرها و رابطه هایی را که تشکیل دهنده این ساخت ها هستند، موضوع های صوری - انتزاعی می نامیم. مثال نمونه ای این نوع سوم ساخت ها، ساختی است که حساب گزاره ها را شرح دهد و یا ساخت گسترده تری که حساب محمول ها را توضیح می دهد.

در کلاس دوم، دستگاه هایی وجود دارد که بین جنبه های اساسی واقعیت



جرج بول

و درك آن، رابطه‌های متقابل اساسی را (از نقطه نظر محتوی و مضمون) برقرار می‌کند. انعکاس نظری این دستگاه، که می‌توان آن را دستگاه مضمونی - انتزاعی نامید، عبارت است از دستگاه مقوله‌ها (در فلسفه).

از دید ما، جا دارد که ساخت‌های مرحله سوم انتزاع (هم کلاس اول و هم کلاس دوم) را، ساخت‌های انتزاعی بنامیم، زیرا، آن‌ها در بالاترین سطح انتزاع قرار گرفته‌اند (هم خود ساخت‌ها و هم عضوهای آن‌ها و رابطه‌هایی که آن‌ها را تشکیل می‌دهند). با وجود این، باید توجه داشت که گاهی اصطلاح «ساخت‌های انتزاعی» به مفهوم محدودتری به کار می‌رود، یعنی برای ساخت‌های صوری - انتزاعی.

به هر حال، اصطلاح‌هایی را که در این جا به کار می‌بریم، دارای خصلتی کاملاً مشروط هستند.

گروه بندی که در این جا از نوع‌های مختلف ساخت (از نقطه نظر زوج مقوله‌های «مشخص - مجرد» و «مضمونی - صوری») ارائه دادیم، در بهترین حالت خود، می‌تواند تنها یکی از تقریب‌های مربوط به حقیقت استقرار اشیاء باشد. ممکن است ایراد گرفته شود که این گروه بندی، خلاصه و از لحاظ معنا، منجمد و بی روح است، شبیه آنچه که می‌توان در نوشته‌های بودباکی پیدا کرد. باید روی این مطلب تأکید کرد که تعیین مرز بین نوع‌های مختلف ساخت‌ها، دقیق نیست. با همه این‌ها، امید ما این است که اندیشه بنیانی این تنظیم، دست کم از این بابت روشن کننده باشد که از یک طرف، قانون‌های اساسی تکامل را، که در جریان آن طبعاً این تنظیم هم دقیق تر می‌شود، نشان دهد و از طرف دیگر، برای کشف ویژگی‌های موضوع ریاضیات، در جهت کلی حرکت خود، راهنمایی باشد. در ضمن، این دو جنبه به هم بستگی دارند: مسأله دقیق تر کردن مرزهای بین نوع‌های مختلف ساخت‌ها، تنها يك تجزیه و تحلیل نظری - انتزاعی از مقوله‌های فلسفی نیست، بلکه ضمناً يك تجزیه و تحلیل تجربی از بستگی‌های متقابل بین دانش‌هایی است که به کمک آن، نتیجه گیری‌های تجزیه و تحلیل نظری، مورد تأیید قرار می‌گیرد.



با توجه به مرحله‌های مختلف انتزاع در موضوع‌های جهان واقع، می‌توان دانش‌ها را به چهار گروه تقسیم کرد:

**۱. دانش‌های گروه A** - دانش‌های درباره موضوع‌های جهان واقعی از مرحله اول انتزاع، یعنی موضوع‌های مشخص (و به خصوص درباره ساخت‌های مشخص)، که می‌توان آن‌ها را **دانش‌های مشخص** نامید. این دانش‌ها را، در سه قسمت بزرگ می‌توان گروه‌بندی کرد: (۱) دانش‌های مربوط به طبیعت نامتناهی - دانش‌های فیزیکی، به معنای وسیع کلمه، (۲) دانش‌های مربوط به طبیعت متناهی - دانش‌های زیستی و (۳) دانش‌های مربوط به جامعه‌ها - جامعه‌شناسی. (دانش‌های نوع اول و دوم، روی هم، دانش‌های طبیعی را تشکیل می‌دهند).

**۲. دانش‌های گروه B** - دانش‌های مربوط به موضوع‌ها (یا ساخت‌ها)، وقتی که در مرحله دوم انتزاع باشند. این دانش‌ها را می‌توان، **ریاضیات مضمونی** (به مفهوم وسیع آن) و یا **ریاضیات ۲** نامید (شاید اصطلاح‌های مناسب‌تری هم بشود برای آن پیدا کرد). ریاضیات ۲، به دو گروه کوچکتر تقسیم می‌شود: (۱) ریاضیات ۱ و ۲ (یا ریاضیات مضمونی، به مفهوم محدود آن)، که محتوی آن به زبان اشیاء و با اصطلاح‌های بودشناسی بیان می‌شود (آنالیز ریاضی به تعبیر معمولی آن، یعنی مفهوم کمیت متغیر، پیوستگی و غیر آن، که با روش معمولی قیاسی مضمونی، شرح داده می‌شود: نظریه مضمونی احتمالات، که در آن، درجه احتمال، به عنوان حادثه‌ای به مفهوم عادی و فیزیکی آن فهمیده می‌شود و احتمال وجود یا عدم وجود آن در فضا و زمان مشخص می‌شود؛ هندسه، که خاصیت‌های ممکن و واقعی مربوط به بعدهای جسم مادی را مطالعه می‌کند و دیگر نظریه‌های مشابه؛ (۲) ریاضیات ۲ و ۲ (یا منطق صوری به معنای امروزی آن، یعنی منطق ریاضی، که گاهی به طور ساده «منطق» هم نامیده می‌شود)، که محتوی آن به زبان اشیاء و با اصطلاح‌های منطقی بیان می‌شود (به خصوص باید روی این مطلب تأکید کرد که نظریه‌های منطقی، بسیار متنوع‌اند: در ردیف منطق گزاره‌ها و محمول‌ها، منطق مسأله‌ها و پرسش‌ها؛ در ردیف منطق استلزامی

دو ارزشی، دستگاه‌های منطق چند ارزشی، منطق احتمالی؛ و در ردیف منطق رسمی، منطق شهودی و غیره).

۳. دانش‌های گروه C - دانش‌های مربوط به موضوع‌ها یا ساخت‌های صوری - انتزاعی، و مامجموعه آنها را با اصطلاح ریاضیات صوری یا ریاضیات<sup>۱</sup>، نام می‌گذاریم.

۴. دانش‌های گروه D - دانش مربوط به دستگاه مقوله‌ها، یعنی دستگاهی که به جنبه‌های اساسی مضمونی - انتزاعی واقعیت و معرفت مربوط می‌شود؛ و این دانش، همان فلسفه است، که بر بنیان مقوله‌ها قرار گرفته است (و در دستگاه فلسفی هگل، به روشنی بیان شده است).

۶

تقسیم مرحله‌ها در ریاضیات. با دو جنبه زیر، مشخص می‌شود:  
۱. تغییر در ساخت داخلی ریاضیات، که به نوبه خود با دو جنبه زیر مشخص می‌شود:

۱.۱. تمایل به تجزیه ریاضیات به دو نوع دستگاه علمی، که در



هگل

مرحله‌های متفاوتی در تقسیم‌بندی دانش‌ها، قرار گرفته‌اند: ریاضیات ۱، یعنی ریاضیات صوری، دانش مربوط به ساخت‌های صوری - انتزاعی، و ریاضیات ۲، یعنی ریاضیات مضمونی، دانش مربوط به ساخت‌های عام (مربوط به ساخت‌های مشخص عام).

۲.۱. تمایل به جمع‌بندی ریاضیات به کمک منطق. این جمع‌بندی، به‌طور جدی، به‌جنبه متضاد و دیالکتیکی آن، یعنی، تجزیه و انتزاع در ریاضیات، و نه منطق مربوط است.

منطق صوری جدید، که راه خود را با کارهای دژبول آغاز کرده است (دژبول در میانه‌های سده نوزدهم می‌زیست؛ ضمناً از لایب نیتس هم باید به‌عنوان یکی از پیش‌قدمان بول نام برد)، به دو نوع دستگاه تقسیم می‌شود: ۱) منطق ۱، که شامل ساخت‌های خالص صوری، یعنی ساخت‌های ریاضی صوری - انتزاعی، به‌صورت خالص خود است (بدون این که هیچ گونه تعبیری از آن‌ها بشود)، که با وجود این، در جریان تکامل منطق، به‌عنوان دانش مربوط به تفکر، به وجود آمده است و دست کم تا حدی در مطالعه ساخت‌ها و قانون‌های تفکر درست به کار می‌رود: مثل حساب گزاره‌ها و حساب محمول‌ها؛ و ۲) منطق ۲، یعنی منطق صوری که دارای محتوی بامعنی است (همان‌طور که دیده می‌شود. اصطلاح «صوری» را می‌توان به مفهوم - های متفاوتی گرفت)، که شامل نظریه‌های ساخت ریاضی تفکر درست است،



دکارت

که در صورت تکاملی خود، عبارتند از دستگاه‌های صوری که با اصطلاح‌های منطقی مورد تعبیر قرار می‌گیرند. و از نقطه نظر حل مسأله‌های منطقی - مطالعه ساخت‌ها و قانون‌های تفکر درست، مثل منطق گزاره‌ها و منطق محمول‌ها - آماده می‌شوند.

منطق ۱، در مجموع خود به ریاضیات ۱، به عنوان زیر دستگاهی از آن، مربوط می‌شود و بنابراین، از نقطه نظر ریاضیات ۱، برای پایه گذاری آن، بنایی وجود ندارد. در این ضمن، به اعتقاد ما، اضافه کردن عبارت «محاسبه منطقی» در ادبیات مربوط به منطق را نباید به این معنا گرفت که «محاسبه» به معنای خالص را می‌توان به دو حالت «منطقی» و «غیر منطقی» تقسیم کرد، زیرا در این صورت به تناقض برخورد خواهیم کرد. این وضع را که در ادبیات ریاضی، این اصطلاح‌ها از هم جدا شده‌اند، باید خیلی ساده و به عنوان يك حقیقت تجربی، که از راه تکامل دانش به دست آمده است، در نظر گرفت.

منطق ۲، در مجموع خود به ریاضیات ۲ مربوط می‌شود؛ با وجود این، در قالب ریاضیات ۲، موضوع خاص خودش را دارد - تفکر منطقی از دید ساخت ریاضی انتزاعی آن به نحوی که منطق ۲، زیر دستگاهی از دستگاه ریاضیات ۲ می‌شود. با توجه به این حکم منطق ۲، از راه تعبیر منظم دستگاه‌های صوری به کمک شکل‌های مختلف اصطلاح‌های منطقی و به کار گرفتن آن‌ها در بررسی مسأله‌های منطقی مربوطه، تدارك دیده می‌شود.

۲. تغییر در ساختمان خارجی ریاضیات، در ارتباطی که ریاضیات با فلسفه و دانش‌های مشخص، مثل فیزیک، زیست‌شناسی و جامعه‌شناسی دارد، باید به‌ویژه روی این مطلب تأکید کرد که همراه با تکامل اندیشه و درك ما، فلسفه و ریاضیات به هم نزدیک می‌شوند و معنای عامی از نقطه نظر شناخت پیدا می‌کنند و ریاضیات صوری در سطحی از انتزاع قرار می‌گیرد که فصل مشترکی با فلسفه پیدا می‌کند. از همین جاست که باید فلسفه و ریاضیات را به عنوان دانش‌هایی به حساب آورد، که به خاطر بستگی‌هایی که به یکدیگر دارند، می‌توان و باید از هر کدام برای درك بهتر دیگری استفاده کرد. البته، فلسفه و ریاضیات، اختلاف‌هایی هم با یکدیگر دارند؛ فلسفه،

به عنوان دانشی که عام‌ترین، انتزاعی‌ترین و اساسی‌ترین جنبه‌های مضمونی واقعیت و ادراک را بررسی می‌کند، انعکاسی از جهان بینی و روش‌شناسی علمی در همه دانش‌هاست درحالی‌که، ریاضیات، به عنوان دانش ساخت‌های صوری - انتزاعی، به صورت ابزار و روش عام در بررسی‌های دقیق، در متنوع‌ترین نظریه‌های مضمونی و برای مطالعه متنوع‌ترین جنبه‌های شناخت واقعیت به کار می‌رود.

# ریاضیات کاربرده و چشم انداز آینده

ب. گنه دنگو

## ۱. ناگزیری به کار گرفتن ریاضیات

اخترشناسی و فیزیک، بیش از دیگر دانش‌ها، ما را قانع می‌کند که روش‌های ریاضیات در مورد آن‌ها، نه تنها وسیله‌ای برای محاسبه، بلکه یکی از راه‌های اساسی شناخت و نفوذ در ماهیت قانون‌هایی است که در آن‌جا مورد مطالعه قرار می‌گیرد. در زمان ما، به ریاضی درآوردن دانش، موفقیت‌های زیادی پیدا کرده است. بسیاری از شاخه‌های دانش، که تا همین گذشته نزدیک، بی‌نیاز از روش‌های ریاضی به نظر می‌رسیدند، امروز، مصرانه و به سرعت، گذشته را تلافی می‌کنند. البته، علت این امر، در مرحله نخست، این است که دیگر تنها بررسی کیفی نمودهای طبیعی، یا روند های اقتصادی، صنعتی و غیر آن، نه از جهت روانی و نه از جهت علمی، نمی‌تواند قانع‌کننده باشد.

در واقع، بدون تحلیل دقیق کمیتی قانون‌های دانش، نمی‌توان از آن‌ها برای پیش‌بینی و جهت‌دادن به اداره کار، استفاده کرد. مثلاً، فرض کنید که بخواهیم یک سفینه برای بررسی وضع مریخ، به فضا بفرستیم، و با روش‌های ریاضی مکانیک هم‌آشنا نباشیم. بدون این روش‌ها، چگونه می‌توانیم سرعت نخستین سفینه‌ها را محاسبه کنیم؟ چگونه می‌توانیم، مسیر حرکت را، برای رسیدن به باصرفه‌ترین حالت مصرف سوخت، پیدا کنیم؟ چگونه می‌توانیم، جهت حرکت را محاسبه کنیم؟ از این گونه پرسش‌ها، می‌توان به تعداد بی‌شماری مطرح کرد. و اگر بخواهیم تنها با تجربه و مشاهده، پاسخی برای آن‌ها

پیدا کنیم، روشن است که به جایی نخواهیم رسید. و این، از ویژگی‌های آدمی است که هر وقت با چنین موقعیتی مواجه می‌شود، می‌کوشد تا بر آن غلبه کند و به بهترین شکل اداره کردن آن دست یابد. برای خود کار کردن جریان‌های تولید، بدون تحلیل منطقی و ریاضی، نمی‌توان دخالت عاقلانه و حساب شده‌ای در آن کرد، نمی‌شود به طور جدی زمان این دخالت و یا میزان و نوع آن را تشخیص داد. دستورهایی از نوع: سوپ را تا آماده شدن بجوشانید، یا «پیچ را تا جایی که ممکن است، محکم کنید»، برای سر و صورت دادن به مدیریت، کافی نیست. دستور باید «قابل فهم» و مشخص باشد. مدیریت هم تنها وقتی مفهوم است که دستورها، دقیق باشد و ضمناً با زبانی بیان شود که برای سازمان او، قابل درک باشد. به همین علت است که در نتیجه خودکار شدن، نیاز صنعت به ریاضیات روز به روز زیادتر می‌شود و لزوم تنظیم فصل‌های تازه‌ای در ریاضیات، و پیدا کردن روش‌های تازه‌ای برای بررسی مسأله‌هایی که دایم به وجود می‌آیند، احساس می‌شود. و به این ترتیب، خودکار کردن، با رشته‌های محکمی، پیشرفت صنعت را به ریاضیات مربوط کرده است.

مقام ریاضیات را در دانش‌های دیگر و در صنعت، نمی‌توان يك بار و برای همیشه معین کرد، زیرا بستگی، بین آنها، بسیار پیچیده و متغیر است. در زمان ما، آگاهی‌های مربوط به دانش و نتیجه‌هایی که از تجربه عملی به دست می‌آید، به سرعت زیاد می‌شود، و روشن است که خود ریاضیات هم، در جای خود نمی‌ایستد. این حکم کلی، که دانش مطلق وجود ندارد و آگاهی‌های ما از طبیعت، به تدریج و مرتب، به حقیقت واقع، نزدیک‌تر می‌شود، در مورد بستگی بین ریاضیات، با دیگر شاخه‌های دانش و فعالیت‌های صنعتی هم، درست است.

درباره کاربرد روز افزون ریاضیات در صنعت و دانش‌های دیگر و به ریاضی در آوردن آنها، نکته بسیار مهمی وجود دارد که اغلب فراموش می‌شود. به ریاضی در آوردن دانش و فعالیت علمی، این نیست که بتوانیم آزمایش و مشاهده را از روند معرفت حذف کنیم؛ بلکه به این معناست که بر اساس آگاهی‌هایی که از راه آزمایش‌های قبلی و قانون‌های معلوم، به دست

آورده‌ایم، بتوانیم به شرایط آغازی قابل قبولی برسیم و بر مبنای آن‌ها نتیجه‌های دقیقی بگیریم و روش‌هایی به وجود آوریم که به کمک آن‌ها، رسیدن به هدف‌هایی که به طور مستقیم و از راه آزمایش میسر نمی‌شود، ممکن باشد. هدف به ریاضی درآوردن نظریه‌های موجود، تنها این نیست که بشود به کمک دستورهای دقیق، به توضیح و بیان آگاهی‌های جمع شده پرداخت، بلکه به این منظور هم هست که بتوانیم پدیده‌های تازه‌ای را پیش‌بینی کنیم. اگر این پیش‌بینی‌ها، درست از آب درآید، موقعیت نظریه تحکیم می‌شود و راه خود را، برای نتیجه‌گیری‌های بعدی، ادامه می‌دهد. ولی، مادام که نظریه ریاضی، تنها به طور تقریبی، یک پدیده واقعی را توضیح بدهد، ناگزیر سرانجام به جدائی بین نظریه و واقعیت، منجر می‌شود. معلوم می‌شود که بعضی نتیجه‌هایی که از نظریه ریاضی به دست می‌آید، ضمن تجربه، مورد تأیید قرار نمی‌گیرد و یا بعضی از حقایق تجربی، قابل توضیح به وسیله نظریه موجود نیست و این، نشانه آن است که نظریه ما نارسا است و باید در مبنای و موقعیت آن، که قبلاً محکم و پایدار به نظر می‌رسید، تجدید نظر کرد، باید نظریه تازه‌ای ساخت که نه تنها حقایق را، که به وسیله نظریه قدیمی قابل توضیح نبود، در بر بگیرد، بلکه شامل همه جنبه‌های مثبت نظریه قبلی هم باشد.

به ریاضی درآوردن دانش و صنعت، تنها به این معنا نیست که فلان شاخه دانش باید استفاده از روش‌ها و نتیجه‌های حاضر و آماده ریاضی را آغاز کند، بلکه به معنای آغاز جستجوی یک دستگاه ریاضی خاصی است که بتواند به کامل‌ترین وجه ممکن، مجموعه پدیده‌هایی را که مربوط به شاخه مورد نظر ماست، توضیح دهد. معمولاً چنین دستگاه ریاضی از پیش وجود ندارد و باید ساخته شود. مثلاً، آنالیز ریاضی را از این نمونه دستگاه‌ها می‌توان دانست، که پیدایش آن را مدیون نیازی هستیم که برای بیان ریاضی قانون‌های حرکت به وجود آمده بود. شبیه این وضع، وقتی پیش‌آمد که برای پیدا کردن بهترین راه استفاده از منابع، نیاز به وجود روش‌های ریاضی احساس شد. این مسأله عملی، علت به وجود آمدن نظریه‌های ریاضی، مثل برنامه‌ریزی خطی و غیر خطی و غیر آن شد.



روند شناخت طبیعت و پیشرفت فعالیت‌های علمی انسان، جریانی بی‌پایان است، و همراه با آن‌ها، روش‌های ریاضی هم تکامل می‌یابد و پیش می‌رود، زیرا ترقی دانش و صنعت، یکی از انگیزه‌های اساسی ترقی خود ریاضیات است. البته، ما از این راز اطلاعی نداریم که چگونه می‌توان با پیشرفت دادن به ریاضیات، برای ترقی علوم طبیعی، صنعت، اقتصاد، زبان-شناسی و جنبه‌های دیگر تکامل جامعه، راه را باز کرد. با وجود این، می‌توان به‌طور کلی گفت که، ترقی ریاضیات کار بسته، با تکامل پیشگام ریاضیات نظری، بستگی ناگسستنی دارد، ولی خود تقسیم ریاضیات به دو شاخه کار بسته و نظری، مفهوم اولیه خود را از دست می‌دهد، زیرا می‌توان تأکید کرد که هیچ حکم ریاضی وجود ندارد که نتوان کاربردی از آن، در مسأله مهمی از صنعت و یا طبیعت پیدا کرد.

## ۲. ریاضیات کار بسته، در طول زمان

در طول تمامی تاریخ علوم طبیعی، به کرات، محتوی، حجم و خصلت ریاضیات و همراه با آن تصور مربوط به ماهیت ریاضیات کار بسته، دچار تغییر شده است. در این وضع، هیچ چیز شگفت‌آوری وجود ندارد، زیرا، همان‌طور که انسان به ذخیره دانش خود می‌افزاید و آگاهی خود را از طبیعت عمیق‌تر می‌کند و به همان اندازه، که وسایل و ابزار کار تغییر می‌کند، ناچار می‌شود که از روش‌ها و امکان‌های ریاضی تازه‌ای، برای بیان روندها و نمودهای مورد علاقه‌اش، استفاده کند.

در زمان‌های دور گذشته، وقتی که تازه تصورهایی درباره شکل‌های هندسی به وجود می‌آمد، وقتی که نخستین قانون‌های مربوط به حساب شکل می‌گرفت، تمامی ریاضیات، کار بسته بود. از آن زمان، باید دورانی بسیار طولانی می‌گذشت تا ریاضیات به دو شاخه نظری و کار بسته، تقسیم شود. این تقسیم‌بندی، در مکالمه‌های افلاطون، به روشنی دیده می‌شود. ولی، در این دوره، ریاضیات کار بسته به معنای وسیله‌ای برای استفاده از آگاهی‌های مشخصی، در موقعیت‌های مشخصی، گرفته می‌شد، البته، موردهایی هم وجود داشت که به خاطر نیازهای عملی، حرکت تازه‌ای هم در اندیشه ریاضی

به وجود می‌آمد. به عنوان مثال، کافی است، به وجود آمدن مقدمات هندسه کروی را، که بابررسی‌های اخترشناسی بستگی داشت، به خاطر بیاوریم. پیدایش آنالیز ریاضی، زرادخانه وسایل ریاضیات کاربرسته را، تا حد زیادی غنی کرد. سده‌های هیجدهم و نوزدهم، تحت لوای آنالیز ریاضی گذشت، که به حق به عنوان وسیله و زبان اصلی دانش‌های طبیعی این دوره به شمار می‌رفت. ولی، در اواخر سده هیجدهم، تصور در باره ساختمان مولکولی ماده شکل گرفت و ضمناً اساس نظریه کمی خطای باصره، پی‌ریزی شد. این مسأله‌ها، و همچنین مسأله‌های مربوط به بیمه و سرشماری، تصور کاملاً متفاوتی را در باره اندیشه‌ها و روش‌های ریاضی ایجاد می‌کرد و از همان‌جا، مقدمات آمار ریاضی و نظریه احتمالات، به وجود آمد. داوید هیلبرت، در مرز بین سده‌های نوزدهم و بیستم، در مقاله مشهوری که مسأله‌های حل نشده اساسی ریاضیات را ذکر می‌کند، نظریه احتمالات را، مربوط به فیزیک می‌داند.

سده بیستم، تصور درباره ریاضیات کاربرسته را، به شدت دگرگون کرد. همه جنبه‌های تفکر ریاضی این سده - نظریه تابع‌های با متغیر مختلط، منطق ریاضی، جبر، آنالیز تابعی - کاربرد خود را در فیزیک، اقتصاد و صنعت به دست آورد. این اعتقاد پا می‌گیرد که خود ریاضی به دو شاخه نظری و کاربرسته، تقسیم نشده است، بلکه تمایل ریاضی‌دانان است که به خاطر روشی که در برخورد با مسأله‌ها دارند، ریاضیات را به دو شاخه نظری - انتزاعی و کاربرسته، تقسیم کرده است. برای بعضی از ریاضی‌دانان مسأله اساسی دانش در این است که بتواند دشواری‌های مربوط به حل موضوع‌هایی را برطرف کند، که در برابر کوشش‌های نسل‌های گذشته، تسلیم نشده‌اند. این گونه مسأله‌ها، بدون توجه به این که در عمل و یا حتی در مجموعه ریاضیات چه نقشی دارند، خود به خود ریاضی‌دانان را به طرف خود جلب می‌کند. گروه دیگری از ریاضی‌دانان از عمق بخشیدن به مبانی ساختمانی ریاضیات، به هیجان می‌آیند. این‌ها چنان اشتیاقی به جلا دادن مفهوم‌های اصلی و مرکزی ریاضیات دارند که تمامی تلاش‌ها و بررسی‌های خود را روی آن متمرکز کرده‌اند. گروه سوم، علاقه‌مند به بهتر کردن و پیشبرد روش‌های بررسی هستند،

و سرانجام، دانشمندانی وجود دارند که برای آنها، تنها هدف ریاضیات، کمک به عمل و مسأله‌های عملی و تسریع حل آنها است. این گروه ضمناً، برای آن قسمت از ریاضیات، که سرچشمه نخستین اندیشه مربوط به آن، به مسأله مشخصی از زندگی و عمل بستگی داشته است، ارزش بسیار قایل‌اند. تعمیم مسأله را هم در این جهت می‌بینند که بتوان قانون‌هایی پیدا کرد که با تکیه بر آنها، نه تنها يك مسأله مشخص، بلکه مجموعه‌ای از مسأله‌ها، قابل حل باشد. چنین برداشتی از ریاضیات به خصوص برای پیشرفت دانش، اهمیت دارد. از چنین برخوردی با پیشرفت دانش‌ها، نه تنها رشته‌های عملی مورد نیاز بشر، بلکه خود ریاضیات نظری هم سود می‌برد، زیرا امکان جستجوی پژوهش‌های به کلی تازه‌ای را به وجود می‌آورد که کشف آنها از راه استدلال‌های خالص ذهنی، ممکن نیست.

### ۳. ریاضیات کاربرده، راه‌گشای زندگی

یکی از روشن‌ترین نمونه‌های نفوذ روش‌های ریاضی را در رشته‌های جدید، در سیرنیتیک می‌توان دید. این فکر، که بتوان با آگاهی‌هایی که از موضوع‌های مورد نظر به دست می‌آید، آنها را اداره کرد، همیشه مورد علاقه سخن‌گویان رشته‌های گوناگون دانش بود. این فکر، بسیار ثمربخش بود و راه را برای استفاده از امکان‌های ریاضی در جنبه‌هایی از فعالیت آدمی باز می‌کرد، که بسیار دور از ریاضیات به نظر می‌آمدند. برای روشن شدن موضوع، داستان ماشین محاسبه‌ای را که سال‌ها پیش، برای تشخیص بیماری، در شهر کیف طرح‌ریزی شده بود، حکایت می‌کنم.

در آغاز سال ۱۹۵۶، مجمع پزشکان بیماری‌های داخلی، از مهندس ی. آ. شکاباد، متخصص ماشین‌های محاسبه و من دعوت کرد، تا درباره امکان‌های ماشین‌های محاسبه امروزی و چگونگی کاربرد آنها در پزشکی، گزارشی تهیه کنیم. ما، به عنوان یکی از کاربردهای این ماشین‌ها، تعیین بیماری داخلی براساس معاینه بیمار، و ضمناً، امکان جهت‌یابی خود به خود معاینه‌ها و تجزیه و تحلیل بعدی را، نام بردیم. عکس‌العمل اولیه پزشکان مشهور، کاملاً منفی بود، زیرا خود فکر، در آن زمان به کلی غیرعادی به

نظر می‌رسید. با وجود این، پیشنهاد ما، مورد توجه ن. م. آموسوف، جراح نامی، قرار گرفت. تنها، بعد از آن که ما به نتیجه‌های مثبتی رسیدیم و نخستین ماشین را برای شناختن بیماری‌های قلبی ساختیم، از جانب بسیاری از متخصصین - چه متخصصین قلب و چه دیگران و منجمله روانشناسان - پیشنهادهایی برای همکاری دریافت داشتیم. طرحی که آن روزها به نظر ما می‌رسید، امروز کاملاً به نتیجه رسیده است و هیچ چیز غیرطبیعی و متناقض با منطق، در آن دیده نمی‌شود. امروز، دیگر در تمامی جهان آزمایشگاه‌های بسیاری وجود دارد که در آن‌ها، روی مسأله‌هایی از این قبیل، به طور منظم کار می‌کنند. همچنین، انجمن بین‌المللی پزشکی - سیرنیتیکی تشکیل شده است که در آن مشهورترین پزشکان متخصص در کنار دانشمندانی از دیگر رشته‌ها، جمع شده‌اند.

تا همین اواخر، ریاضیات به طور عمده تحت تأثیر فیزیک، اخترشناسی و صنعت، پیشرفت می‌کرد. و بدون تردید، ویژگی‌ها و مقتضیات این رشته‌های دانش، بر نوع و خصلت تکامل ریاضیات، تأثیر عمیقی بخشید.

پیشرفت زیست‌شناسی و دانش‌هایی که به آن بستگی دارد، به صورت قانع‌کننده‌ای نشان می‌دهد که ترقی بعدی آن‌ها، منوط به استفاده گسترده‌ای از روش‌های ریاضی است. بشر، بررسی نموده‌هایی از زیست‌شناسی را آغاز کرده است که مشاهده مستقیم آن‌ها، اگر ممکن باشد، دشواری‌های بسیار به همراه دارد. تنها می‌توان نموده‌های درجه دوم را مشاهده کرد و درباره آن‌ها به آزمایش پرداخت. برای این که، این آزمایش‌ها منجر به نتیجه‌ای بشود، باید مدل‌های کمی و آماری ساخت تا به کمک آن‌ها بتوان نتیجه‌هایی را که از راه مشاهده به دست می‌آید، ارزیابی کرد. طبعاً پرسشی پیش می‌آید: آیا وسیله‌ها و امکان‌های موجود ریاضی، برای بررسی پدیده‌های زیستی کافی است؟ روشن است که پاسخ آن منفی است. ریاضیات ناچار است، به خاطر نیازهای دانش زیست‌شناسی، ساختمان خود را تکمیل و روش‌های تازه‌ای را برای بررسی کشف، و در ضمن مفهوم‌های موجود خود را برنده‌تر کند. زمان آن نزدیک می‌شود که بگوییم ریاضیات تنها وسیله ساده محاسبه‌ای برای زیست‌شناسی نیست؛ بدون ریاضیات، نمی‌توان ویژگی روندهای زیستی

را نه در داخل سلول‌های جداگانه و نه در مورد موجود زنده، به‌طور کامل فهمید. ولی، برای این‌که این امر تحقق یابد، راه درازی در پیش است و به‌کار جمعی سخت و همه‌جانبه ریاضی‌دانان و زیست‌شناسان نیازمند است.



با پیشرفت صنعت و تولید، نظریه اطمینان بخشی<sup>۱</sup> اهمیت زیادی پیدا کرده است و وظایف سنگین و مسئولیت‌داری، که هر روز بیشتر می‌شود، به‌عهده آن گذاشته شده است. نبودن یک سازمان ویایک دستگاه فنی، نه تنها زیان‌های مادی به بار می‌آورد، بلکه به ناپودی انسان‌ها هم منجر می‌شود. بنابراین، این، ضرورت جدی دارد که بتوانیم رفتار دستگاه‌ها را، به موقع پیش‌بینی و قابلیت‌کار بدون وقفه آن‌ها را در زمان مورد نظر، ارزیابی کنیم. روش‌هایی که امروز وجود دارد، به‌خوبی از عهده این مهم بر نمی‌آید، باید نظریه مربوط به رفتار مواد، به کمک دانش‌های فیزیک، شیمی و ریاضی شکل بگیرد، که از عهده انجام چنین کاری بر آید و احتمال پیش‌آمدها را، پیش‌بینی کند. مسأله مهم دیگری هم در مورد نظریه اطمینان بخشی وجود دارد: دستگاه‌ها و عنصرهایی وجود دارد که کار بدون وقفه آن‌ها، مورد نیاز جدی است. روش‌هایی که برای بررسی

---

۱. نظریه اطمینان بخشی، یکی از رشته‌های تازه دانش است. در نظریه اطمینان بخشی، به دنبال روش‌هایی هستند که به یاری آن‌ها بتوان ثمر بخشی کار را (در روندهای تولیدی، سازمان‌ها، دستگاه‌ها و غیره) در جریان بهره‌برداری، تأمین کرد. در نظریه اطمینان بخشی، مثلاً کوشش می‌شود تا با توجه به دو عامل عالی بودن محصول و صرفه‌جویی در نیروی کار و مواد مصرفی، ضریب اطمینانی برای مرحله‌های مختلف طرح، تولید، نگاه‌داری و بهره‌برداری، پیدا کرد.

مدل‌بندی ریاضی نظریه اطمینان بخشی، با استفاده از روش‌های گوناگون ریاضی، و به‌خصوص نظریه احتمالات و آمار ریاضی، شکل می‌گیرد، و این به دلیل تصادفی بودن حوادثی است که در ضریب اطمینان مربوط به کار اثر می‌گذارد (مثل وقفه ناگهانی در کار، به درازا کشیدن تعمیر و غیره). مترجم.

و تحقیق موجود است این امکان را نمی‌دهد که در زمان محدودی که در اختیار ماست، به‌طور گسترده و همه‌جانبه‌ای به‌مشاهده بپردازیم و به نتیجه‌گیری‌های درست برسیم. موقعیت ناجور و غیر قابل حلی به نظر می‌رسد. از یک طرف، دائماً به محصولات و مصنوعات در بالاترین سطح اطمینان نیاز داریم، از طرف دیگر، زمانی بررسی‌ها و آزمایش‌های ما تمام می‌شود که دیگر موضوع اصلی کهنه شده است و در نتیجه نیاز ما به آن از بین رفته است. برای این که، از این وضع دشوار نجات پیدا کنیم، باید رویه و رفتار مواد مختلف در شرایط بهره‌برداری‌های متفاوت، مورد مطالعه دقیق قرار گیرد و نظریه ریاضی مربوط به آن ساخته شود.



آگاهی بر قانون‌های طبیعت، علاوه بر آن که رضایت خاطر را فراهم و نیازهای آدمی را رفع می‌کند، این امکان را می‌دهد تا مسیر حوادث را جهت‌یابی کنیم و برای هدف‌هایی که در نظر داریم، به بهترین راه دست یابیم. تشکیل نظریه ریاضی فرسودگی ماده در کار طرح‌های رادیوالکترونی، می‌تواند منجر به کشف روش‌هایی برای بازآفرینی خواص مصنوعات، از راه «جوان کردن» آن‌ها، بشود.

به‌همین ترتیب، کوشش می‌کنند که راهی برای معالجه بیماری‌ها، به وسیله اثر گذاشتن روی مراکز فرماندهی، پیدا کنند. به‌خصوص، بیماری‌های روانی، نیازمند بررسی طولانی و عمیقی در این باره هستند. امروزه، بسیاری از پزشکان طراز اول، علت بیماری‌های روانی را هم، مثل سایر بیماری‌ها، مربوط به نارسائی مراکز عصبی می‌دانند. بنابراین، می‌توان امید داشت که این گونه بیمارها هم، با «بازآفرینی» خاصیت‌های مراکز نارسای عصبی آن‌ها، بهبود یابند. برای این منظور، موضوع مهم و اساسی این است که هم جهت «شوک» و هم نیروی آن را، به درستی پیدا کنیم. و تردیدی نیست که برای تحقق بخشیدن به چنین آرزوهایی (و حتی آرزوهای خیلی ساده‌تر از آن)، نیاز به پژوهش‌هایی سخت و جدی در همه زمینه‌ها، و منجمله در ریاضیات داریم.

با بررسی عمیق فعالیت‌های عصبی، چه در افراد جداگانه و چه در

گروه‌های انسانی، می‌توان برنامه و روند تربیتی را، عاقلانه تنظیم کرد. تردیدی نیست که در آموزش امروزی، تنها از جزء بسیار کوچکی از امکان‌های ذهنی دانش‌آموزان، یعنی حافظه آن‌ها، استفاده می‌شود. وقتی که حافظه به سادگی همه آگاهی‌هایی را که به او داده می‌شود، ضبط می‌کند، خیلی کم مورد استفاده آموزشی قرار می‌گیرد، و آن وقت کوشش می‌کنند، وقتی که حافظه استعداد فعال خود را از دست داده است، و به موقع هم ورزیدگی لازم را پیدا نکرده است، بارش را زیاد کنند. می‌دانیم که یادگیری زبان در سال‌های کودکی، برای همه عمر به خاطر می‌ماند، در حالی که، بعدها، و برای زبان‌های دیگر، استعداد یادگیری نیروی نخستین خود را از دست می‌دهد (و آیا تنها برای یادگیری زبان چنین است؟). ما امروز فراگیری زبان‌ها را، خیلی دیر آغاز می‌کنیم، وقتی که از لحاظ روانی مقاومت‌هایی در برابر آن وجود دارد، و ارتباطات صوتی، خاصیت آرامش-دهی خود را از دست داده است.

آزمایش‌های آموزشی بسیار و گسترده‌ای لازم است تا معلوم شود که یادگیری را باید چگونه و به چه ترتیبی انجام داد، تا بهترین نتیجه به دست آید. ولی، تنها آزمایش نمی‌تواند ما را راهنمایی کند، باید از آزمایش‌هایی که انجام می‌شود، نتیجه‌گیری کرد. و به چنین هدفی هم، بدون یاری آمار ریاضی نمی‌توان رسید. روشن است که تغییر موقعیت‌ها، در نتیجه آزمایش، نقشی بسیار جدی دارد، و چه بسا موقعیت‌هایی که نتوان آن‌ها را به حساب آورد. بنابراین، برای آزمایش‌ها هم باید از قبل برنامه‌ریزی کرد و این برنامه را، در هر گامی که برداشته می‌شود و با توجه به نتیجه‌هایی که به دست می‌آید، هدایت کرد. و به این ترتیب، باز هم به مسأله استفاده از روش‌های آمار ریاضی، برخورد می‌کنیم.



دستگاه‌ها و مسأله‌هایی که انسان امروز با آن‌ها، سروکار دارد، روز به روز بزرگتر و پیچیده‌تر می‌شود. باید این مسأله‌های بزرگ را بررسی کرد و برای هر کدام از آن‌ها دستگاه ریاضی ویژه‌ای، به وجود آورد. روشن است که در دستگاه‌های بزرگ که با اجزاء بسیار زیادی سروکار دارند،

بستگی‌های فراوانی وجود دارد که بنا بر قانون خاصی، فزونی می‌یابد، و باز روشن است که این بستگی‌ها را نمی‌توان از روی قانون‌هایی که بر اجزاء جداگانه دستگاه حکومت می‌کند، پیدا کرد. به عنوان نمونه این گونه دستگاه‌های بزرگ می‌توان، مثلاً از اقتصاد کشور، ترافیک يك شهر بزرگ، کارخانه عظیم، پوشش بهداشتی یا آموزشی کشور، و بالاخره ارگانسیم بدن يك انسان، نام برد. برای این که بتوانیم به نتیجه مورد نظر برسیم، باید يك کارخانه بزرگ را یا به عنوان جزئی از يك دستگاه (يك رشته صنعتی) و یا به عنوان يك دستگاه بزرگ مستقل، مورد بررسی قرار دهیم. مطالعه دستگاه‌های بزرگ، پیدا کردن روش‌های دقیق تجزیه و تحلیل تکامل آن‌ها، و بالاخره جستجوی روش‌هایی که بتواند به این دستگاه‌ها، جهت مورد نظر را بدهد، یکی از مبرم‌ترین مسأله‌های زمان ما را تشکیل می‌دهد. ظاهراً، هم روش‌های تازه و هم رشته‌های علمی تازه‌ای، برای مطالعه چنین دستگاه‌هایی، پیدا شده است. با همه این‌ها، استفاده از گنجینه دانش ریاضی، می‌تواند در این باره، نقشی جدی داشته باشد و به پژوهش‌های مورد نظر، سمت فکری درستی بدهد.

پیش از آن که درباره توانائی ریاضیات برای بررسی دستگاه‌های بزرگ صحبت کنیم، به عنوان نمونه، یکی از این دستگاه‌ها را مورد مطالعه قرار می‌دهیم. فرض کنید که به سازمان حمل و نقل دریایی کالاهای، علاقه‌مند باشیم. به چه مناسبت، این دستگاه را باید بزرگ به حساب آورد؟ به این مناسبت که تعداد عامل‌هایی که در آن دخالت دارد، خیلی زیاد است: کشتی، بندرگاه، وسایل بارگیری و باراندازی در بندر، حمل و نقل بندری و غیره. هر کدام از این عامل‌ها، در هماهنگی و کار دستگاه، تأثیری جدی دارد. ورود کشتی‌ها به بندر، به طور جدی در وضع کشتی‌هایی که به نوبت ایستاده‌اند، اثر می‌گذارد. تعداد بندرگاه‌ها، قدرت وسائل بارگیری و باراندازی، نظم و هماهنگی گروه باربران، اندازه و کارآیی حمل و نقل بندری، همه این‌ها در سرعت عمل کشتی‌ها، در اندازه زمان نوبت آن‌ها و در هزینه‌های بندر و مؤسسه‌های کشتی‌رانی، به طور جدی دخالت دارد. چگونگی انبارها، چگونگی حمل و تحویل بارها و امکان جا به جا کردن ساده بارها در انبار هم، در



وضع کار بندر، تأثیر فراوان دارد و...

اداره يك دستگاه حمل و نقل را، از جنبه‌های متفاوتی می‌توان در نظر گرفت. مثلاً، می‌توان در این باره مطالعه کرد که، با معلوم بودن میزان باری که در گردش است، چگونه ممکن است مجموع هزینه‌های نگهداری بندرها در زمان بیکاری کشتی‌ها، به حداقل خود برسد، یا این که چگونه عمل کنیم تا بیکاری کشتی‌ها در بندرها، حداقل ممکن باشد.

می‌توان، جنبه‌های دیگری را، از بین مسأله‌های بسیار، انتخاب کرد. ولی، صرف نظر از این که چه هدفی را در نظر داریم، این مطلب مسلم است که اداره دستگاه را نمی‌توان تنها به سلیقه شخصی افراد سپرد یا به عبارتی‌های کلی - و در واقع بی‌معنی از نوع «باید بهترین روش را انتخاب کرد»، «تجربه و زمان، دشواری‌ها را حل خواهد کرد» - متوسل شد. باید از قانون دقیق ورود کشتی‌ها، از زمانی که برای کار کشتی‌ها در بندر لازم است و از تأثیری که نوع کار بندر در سرعت کار کشتی‌ها دارد، به دقت آگاه بود. و برای این منظور، باید از آمار ریاضی استفاده کرد.

بعد از آن که تقسیمات اولیه، به طور دقیق مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت، باید از روش‌های نظریه‌های برنامه ریزی در خدمات عمومی، استفاده کرد. به یاری این نظریه‌ها می‌توان تأثیر عامل‌های زیادی را (از نوع ثمربخشی گروه کشتی‌ها، سرعت کارکرد آن‌ها، تعداد اسکله‌ها و غیره)، در سازمان نوبت‌بندی کشتی‌ها، روشن کرد. سپس، باید معلوم کرد که تا چه اندازه لازم است در وضع و موقعیت گروه کشتی‌ها دخالت کرد؟ به چه نحو می‌توان وظیفه آن‌ها را به یکی از بندرهای نزدیک احاله کرد؟ چگونه می‌توان ثمربخشی کار جرثقیل‌ها و دیگر وسائل بارگیری و باراندازی را تغییر داد؟ ترتیب درست عمل با راه آهن کدام است؟ آیا عاقلانه است که قطار را کمی معطل کنیم و بار را مستقیماً از واگون‌ها به کشتی و یا برعکس منتقل کنیم (که البته، در این حالت مقداری از نیروی کار صرفه‌جوئی و از کار دوباره جلوگیری می‌شود) و یا بهتر است که در هر مورد بار را در انبار یا اسکله بگذاریم؟ در این جاست که باید از روش‌های مربوط به نظریه‌های «کمال مطلوب» استفاده کرد.

مسأله مربوط به تنظیم موقعیت انبارهایی که در قلمرو بندر است، به مسأله‌ای از نوع «برنامه‌ریزی خطی» منجر می‌شود. جواب مسأله‌های مربوط به اداره بندر، یا اداره حمل و نقل بار را باید به معنای مجموعه‌ای از ارتباطها (مثل ارتباط بین تهیه‌کننده و تحویل‌گیرنده بارها، حمل و نقل با اتومبیل و راه‌آهن) گرفت که قابل بیان به صورت فرمول‌های تحلیلی نیست و باید از روش‌های مدل‌بندی استفاده کرد. برای این منظور، باید ابتدا ساختمان منطقی جریان را بررسی کرد و سپس تنظیم مدل‌های آن را به کمک کامپیوترها به انجام رسانید.

می‌بینیم که حتی برای تجزیه و تحلیل سطحی کار یک دستگاه حمل و نقل بزرگ، باید از روش‌های گوناگونی استفاده کرد که هر کدام از آنها، به جنبه‌ای از اندیشه ریاضی مربوط می‌شود. در مورد هر دستگاه بزرگ دیگری هم، به چنین طرح‌ها و بررسی‌هایی نیاز داریم. پایه‌های تکنیک امروزی، بر فیزیک و شیمی تکیه دارد و نه تنها برای ساختن دستگاه‌های بزرگ، بلکه ضمناً برای ادامه کار آنها و بهتر کردن بهره‌دهی آنها، به دانش ریاضی نیازمندیم. برای این منظور، تنها وجود ریاضی کافی نیست. به جز آن که استفاده از شاخه‌هایی مثل احتمالات، منطق ریاضی، نظریه انفورماسیون، نظریه «کمال مطلوب» و آمار ریاضی باید گسترش یابد، باید تمامی آنالیز ریاضی، آنالیز تابعی، نظریه تابع‌های بامتغیر مختلط، جبر جدید و به خصوص نظریه گروه‌ها هم به کار گرفته شود. و به این ترتیب، دوباره این طرز تلقی در زمان ما به وجود آمده است که تمامی ریاضیات، می‌تواند کار بسته باشد.

#### ۴. مسیرهای اصلی

به موضوع اصلی مقاله خود برمی‌گردیم: چه شاخه‌هایی از ریاضیات در چشم‌انداز آینده، اهمیت جدی‌تری برای عمل، دانش‌های طبیعی و دیگر دانش‌ها دارد؟ براساس اوضاع و احوال امروزی و بنا بر تجربه‌های موجود، می‌توان بر بعضی از جنبه‌های اندیشه ریاضی تکیه کرد.

منطق ریاضی، چه مستقیماً و چه به خاطر ماشین‌های محاسبه، جای نمایانی را در مسأله‌های عملی به خود اختصاص داده است. نتیجه‌گیری-

های کلی و آلفگوریتمی، تنظیم برنامه و روحیه روشن منطقی به صورت ابزاری برای فعالیت‌های عملی درآمده است، که بدون شك، روز به روز هم بر اهمیت آن افزوده می‌شود، و بنابراین نیاز به بررسی‌های تجربی پیچیده و تجزیه و تحلیل‌های منطقی و اداره کار با کامپیوترها، بیشتر و بیشتر احساس می‌شود.

گفتگویی که همین چندی پیش، با یکی از مهندسين با استعداد و پر تجربه داشتم، می‌تواند تا حد زیادی این وضع را روشن کند. او، با حرارت زیادی می‌گفت که به علت موقعیت‌های مناسبی که پیش آمده است می‌توان درباره شرایط طبیعی و درست تولید محصولات زیاد و هم آهنگی جریان‌های صنعتی، به نتیجه‌های آزمایشی خوبی رسید. برای من سه پرسش پیش آمد: از این آزمایش‌ها، چه نتیجه‌هایی می‌توان به دست آورد، زمان آزمایش‌ها، چقدر طول می‌کشد، ارزش هر ساعت آزمایش چقدر می‌شود؟ معلوم شد که آزمایش، چند ماه طول می‌کشد و ارزش هر ساعت آزمایش هم، مبلغ قابل توجهی است. در مورد پرسش اصلی هم، این پاسخ داده شد: «مگر شما نمی‌دانید که بررسی نتیجه‌گیری‌ها تا چه اندازه دشوار است؟ ما فعلاً تنها در مرحله‌ای هستیم، که بفهمیم آزمایش‌ها را چگونه باید انجام داد». جالب این جاست که تقریباً سه - چهار سال پیش از آن، برای جریان‌های صنعتی مورد نیاز، مدل منطقی - ریاضی ساخته شده بود که می‌شد به کامپیوتر داد و براساس کار آن، نتیجه‌هایی را به دست آورد که به بیش از سی پرسش مورد علاقه دست‌اندرکاران، پاسخ می‌داد.

البته، چنین مدلی، به هیچ وجه با لزوم آزمایش‌های جدی، منافات ندارد، بلکه به ما امکان می‌دهد که از پیش، روی نقطه‌های «ضعف» انگشت بگذاریم و از میان انبوه موضوع‌ها، آنچه را که باید با دقت مشاهده کرد، دست‌چین کنیم. متأسفانه، اغلب کسانی هستند که گمان می‌کنند، می‌توان از دیاد و تکرار آزمایش‌ها را جانشین اندیشه کرد و در نتیجه به لزوم تصور روشن درباره موضوع کار و آنچه که به آن بستگی دارد، تکیه نمی‌کنند.

تشکیل مدل - که به هر حال و تا حدی، منعکس کننده طبیعت شیء است - به طور گسترده‌ای به نظریه احتمال، و مثلاً نظریه جریان‌های

تصادفی و میدان‌های تصادفی بستگی دارد.

به عنوان مثال، نیروی برق مورد نیاز يك منطقه و یا شعبه‌ای از مؤسسه صنعتی را، در نظر می‌گیریم.

مشاهده و بررسی طولانی در مؤسسه‌های شیمیایی، فلزکاری و نساجی، در معدن‌ها و پالایشگاه‌های نفت، به نتیجه‌گیری‌های نزدیک به هم رسیده است: اگر منحنی نیروی مصرفی را رسم و سپس آزمایش را تکرار کنیم، معلوم می‌شود که، در شرایط یکسان، شکل کلی منحنی ثابت می‌ماند، ولی مقادیر عرض، تغییر می‌کند. علت این تغییر عرض، خیلی چیزهاست: نوسان نیرو و شدت جریان در شبکه، زمان کار و فاصله‌های بی‌کاری، بعضی ناپایداری‌های مربوط به خواص مواد مصرفی، همچنین نوع و ماهیت ابزارهای کار و غیره. تغییر هیچ کدام از این عامل‌ها را، از پیش نمی‌توان دید، این‌ها خصیلت تصادفی دارند و در عین حال، در میزان نیروی مصرفی، به طور جدی اثر می‌گذارند. برای تنظیم نظریه مربوط به محاسبه سرچشمه سوخت (خط تغذیه الکتریکی) در مؤسسه‌های صنعتی، باید نیروی مصرفی را، يك روند تصادفی به حساب آورد.

دیدیم که آمار ریاضی نه تنها برای ارزیابی جریان‌های ناشناخته‌ای که با آن‌ها سروکار داریم، لازم است، بلکه بدون آن حتی نمی‌توان طرح‌های آزمایشی را آماده کرد، یا بستگی بین کمیت‌های گوناگون را به دست آورد، یا کیفیت محصول را برآورد کرد و خیلی چیزهای دیگر، تردیدی نیست که روش‌های آمار ریاضی، در سال‌های اخیر، پیشرفت زیادی پیدا کرده است، با وجود این، هنوز مسأله‌های زیادی از نظریه اطمینان بخشی، در برابر آمار ریاضی قرار گرفته است که باید حل شود.

مسأله تشخیص، یکی از مسأله‌های مهم، در بسیاری از رشته‌های دانش امروز است. تشخیص بیماری‌ها، پیش‌بینی ضایعات يك دستگاه و غیره، جنبه‌های متفاوت همین مسأله تشخیص هستند. این مسأله، اهمیت زیادی در زمان ما پیدا کرده است و باید هم روش‌های ریاضی مربوط به آن و هم نظریه آن ساخته شود. البته، تاکنون با استفاده از توپولوژی، آنالیز تابعی و آمار ریاضی، گام‌های مؤثری در راه حل آن برداشته شده است.

با توجه به رشد روزافزون و بی‌اندازه‌ای که امروز در فرآورده‌های صنعتی دیده می‌شود، منابع طبیعی به سرعت رو به نابودی می‌رود. کوه‌هایی که تا همین اواخر غنی و سرشار از مواد معدنی به نظر می‌رسید و منابع درونی آن‌ها تمام‌نشده بود، جلو چشمان ما از بین می‌روند. گمان می‌رفت که ذخیره آب در کره زمین، زوال‌ناپذیر است، ولی حالا و در بسیاری از کشورها، کمبود آب احساس می‌شود... کاملاً روشن است که بیش از این نمی‌شود مواد خام و دیگر منابع مادی را با بی‌فکری و اسراف به هدر داد، بلکه باید بهترین و مناسب‌ترین نوع استفاده از آن‌ها را پیدا کرد. و برای این منظور، باید مسأله پیدا کردن «کمال مطلوب» را حل کرد. برنامه‌ریزی خطی، ابتدائی‌ترین شکل این روش‌هاست که باید در عمل، کاربرد گسترده‌ای پیدا کند.

اندیشه «کمال مطلوب مدیریت»، موجب طرح حیاتی‌ترین مسأله‌های مربوط به زندگی امروز شده است و تجسم خود را در سیرنیتیک پیدا کرده است. فلان جریان را چگونه اداره کنیم تا در کمترین زمان ممکن، یا با حداقل مصرف مواد اولیه، به هدف مورد نظر خود برسیم؟ **نظریه ریاضی «کمال مطلوب مدیریت»** در زمینه‌های مختلف، پیشرفت‌های زیادی پیدا کرده است و بدون تردید در آینده، می‌تواند در همه زمینه‌های فعالیت بشری، از پزشکی و زیست‌شناسی تا اقتصاد و آموزش و پرورش، راهنمای کار باشد. این نظریه هم‌اکنون هم توانسته است در بسیاری موارد، به نتیجه‌گیری‌های سودمندی برسد. ولی «کمال مطلوب مدیریت» باید بتواند به موقع، از آگاهی‌های موجود، در اداره جریان‌ها استفاده کند، و به همین مناسبت «نظریه انفورماسیون» هم، نقش اصلی خود را در عمل پیدا می‌کند. از آن‌جا که یکی از مهم‌ترین عامل‌های عمل، جریان‌های تصادفی است، مسأله «کمال مطلوب مدیریت در جریان‌های تصادفی» هم باید به عنوان یکی از جدی‌ترین مسأله‌های زمان ما، به رسمیت شناخته شود.

## ۵. راه و رسم‌های کهنه شده

چه چیزهایی را و چگونه باید آموخت تا هرگز اهمیت و ارزش خود

را از دست ندهد؟ پاسخ را نمی‌توان يك بار و برای همیشه داد، زیرا چنین پاسخی هم به مسأله‌های جاری و حادی که در آینده نزدیک در برابر جامعه متکامل قرار دارد، مربوط می‌شود و هم به کیفیت دانش‌ها و دورنمای پیشرفت آنها. پاسخ این پرسش، تا حد زیادی به سنت‌های آموزشی هم بستگی دارد. آنچه که در شرایط امروزی اهمیت جدی دارد، این است که روش‌های قدیمی آموزش ریاضی را با دقت ارزیابی و آنچه را که با نیازهای آینده می‌سازد، مشخص کنیم.

مثلاً، کتاب‌های درسی ریاضی را که برای دبیرستان‌ها و یا دانش‌جویان رشته‌های زیست‌شناسی، اقتصاد، شیمی و... نوشته شده است، در نظر می‌گیریم. در این کتاب‌ها، هیچ نشانه‌ای از دگرگونی عظیم علمی زمان ما، و این که هم محتوی و هم نقش ریاضیات در بررسی‌ها و فعالیت‌های عملی روزانه به کلی تغییر کرده است، دیده نمی‌شود. روش‌های ریاضی، در تمامی زندگی ما نفوذ کرده است، ریاضیات امروز، تنها وسیله‌ای برای محاسبه نیست، بلکه به صورت سلاح نیرومندی برای تحقیق درآمده است که بارها و بارها بر تجربه و مشاهده پیشی می‌گیرد. با وجود این، جوان جستجوگر امروزی، حداکثر با چنان سطحی از پیشرفت ریاضیات سرو کار دارد که در بهترین شرایط خود، مربوط به صد سال پیش است. و همین جوان است که فردا باید بتواند دانش‌های طبیعی، صنعت و اقتصاد را تکامل دهد. همین جوان امروزی است که باید رازهای اندیشه را بگشاید، به فضای دور دست کیهانی راه یابد، روندهای صنعتی را ادامه دهد و روش‌های مؤثری برای تشخیص بیماری‌ها و درمان آن‌ها پیدا کند.

شك نیست که مقدمات آنالیز ریاضی و هندسه تحلیلی، که در برنامه‌های ریاضی وجود دارد، مبنای اصلی ریاضیات جدید و کاربردهای آن را، تشکیل می‌دهد. تسلط بر این وسیله‌های مقدماتی لازم است، ولی کافی نیست. اگر سخن معروف تسیولکوکوسکی را، نخستین کسی که شیفته کیهان‌نوردی بود، کمی تغییر دهیم، می‌توان گفت که ریاضیات سنتی مدرسه‌ای و مقدمات آنالیز ریاضی گهواره دانش امروزی هستند. ولی، تا کی می‌توان زیست‌شناسان، پزشکان، مهندسان و اقتصاد دانان آینده را، در گهواره نگه داشت؟

برنامه آموزشی دبیرستان‌ها و مدرسه‌های عالی، در زمانی تنظیم شده است که بشر معتقد به قانون‌های جزمی در طبیعت بود. زندگی این طرز فکر نسبت به قانون‌های طبیعت را به کنار زده است و تلقی آماری به طور جدی جای خود را در دانش امروزی و فعالیت‌های عملی باز کرده است. ولی، این‌ها، جایی در آموزش ریاضی امروزی ندارند و یا تقریباً ندارند. طرز تفکر آماری، چنان در همه زمینه‌های عملی و علمی نفوذ کرده است که دیگر نمی‌توان از بازسازی کامل برنامه‌های مدرسه‌های عالی و حتی از سال‌های ششم و هفتم تحصیل سر باز زد.

جنبه دیگر آموزش ریاضی مربوط به ریاضیات محاسبه‌ای است، که به طور گسترده‌ای چهره آن عوض شده است و امکان برنامه‌ریزی جریان‌های پیچیده‌ای را در ماشین‌های محاسبه الکترونی به وجود آورده است. باید برنامه‌ریزی برای ماشین‌های حساب، و دادن نتیجه‌ها به صورت عدد، جدول و منحنی، به صورت عادت درآید. باید تجزیه و تحلیل منطقی جریان‌ها، و تشکیل طرح‌ها و شمای‌های صوری و منطقی جزو کارهای همیشگی و عادی بشود.

اندیشه‌ها و روش‌های نظریه «کمال مطلوب» را دیگر نمی‌توان به کناری گذاشت. بدون آن‌ها، آموزش ریاضی کم ارزش می‌شود و نمی‌تواند با حداقل نیازهای زندگی عملی امروزی، سازگار باشد.



دانش ریاضی در حال اعتلا و پیشرفت است. این، یکی از ویژگی‌های دوران ماست که در آینده هم نمی‌توان از آن چشم پوشید. پیشرفت آینده بشر، قبل از هر چیز به این بستگی دارد که پژوهش‌گران و کارکنان کارآزموده تا چه اندازه بتوانند «با سبك و شیوه ریاضی بیندیشند» و با چه سرعتی بتوانند آموزش ریاضی را با توجه به نیازهای روز و آینده نزدیک، تجدید سازمان بدهند.

پیشرفت دانش انسانی، مرزی نمی‌شناسد، امکانات ریاضیات هم، برای تجزیه و تحلیل پدیده‌های طبیعی، جریان‌های صنعتی، اقتصاد و زندگی اجتماعی مرزی ندارد. تنها باید بتوان از این امکانات استفاده کرد.

# کاربرد روش‌های ریاضی در بررسی‌های تاریخی

ك. و. خه‌وستووا

کاربرد ثمربخش روش‌های ریاضی در بررسی‌های تاریخی، همراه با تحلیل روش‌شناسی منطقی مسأله‌های مورد بررسی، بیش از بیست سالی است که در تعدادی از کشورها، و پیش از همه در اتحاد شوروی، ایالات متحدهٔ امریکا، فرانسه، بلژیک، انگلیس، سوئد و جمهوری فدرال آلمان، پیدا شده است. امروز دیگر وضعی پیش آمده است که می‌توان بعضی از نتیجه‌گیری‌ها را به هم نزدیک و چشم‌اندازهای مشخصی را معین کرد. در این مقاله کوشش می‌کنیم که این نتیجه‌گیری‌ها و چشم‌اندازها را روشن کنیم و آن‌ها را در طرح تحلیلی مسأله‌های اصلی روش‌شناسی، که به کاربرد روش‌های ریاضی در بررسی‌های تاریخی مربوط می‌شود، ارزیابی کنیم. بحث ما در این باره است که اهمیت و مرزهای ممکن به کار بردن دستگاه ریاضی را در بررسی‌های تاریخی، و همچنین بستگی‌های متقابل روش‌های ریاضی را با استنباط‌های تاریخی - که برای توضیح پدیده‌های جداگانه و یا يك سازمان مشخص به خدمت گرفته می‌شود - معین کنیم. نوع راه‌حل بسیاری از این مسأله‌ها، ارتباط جدی به جهان‌بینی افراد دارد. کم نیستند کسانی که استفاده از روش‌های ریاضی را در بررسی‌های تاریخی رد می‌کنند و نسبت به نقشی که ریاضیات در مورد درك تاریخی می‌تواند داشته باشد، معترض‌اند. در حالی که روش تجزیه و تحلیل ریاضی مدارك تاریخی، می‌تواند به عنوان یکی از امکان‌های اضافی، برای مطالعه عمیق‌تر آگاهی‌های تاریخی گذشته مورد استفاده قرار گیرد. لازم به یادآوری نیست که استفاده از



روش‌های ریاضی در کارهای تاریخ نویسان، باید با روش‌های سنتی تجزیه و تحلیل تاریخی همراه باشد. این به پیشرفت بعدی بررسی‌های تاریخی کمک می‌کند و کاملاً با درك علمی روندهای تاریخی، که با قانون‌های تکامل اجتماع تطبیق می‌کند، سازگار است. برای علم تاریخ، نظریه روشن‌کننده‌ای لازم است تا بتواند در پرتو آن حقایق تاریخی را مطالعه کند و به‌پدیده‌های جداگانه تاریخی تعمیم نظری بدهد، و استفاده از روش‌های ریاضی در تاریخ، پاسخگوی این خواست اساسی و مهم است. ضمناً باید به‌یاد داشت که جمع‌بندی ریاضی آگاهی‌های تاریخی را به طور اصولی، نباید به‌عنوان نظریه تازه‌ای از واقعیت‌های تاریخی به‌حساب آورد.

ویژگی‌هایی که خاص آگاهی‌های گذشته تاریخی است، و خودطبیعت پدیده‌هایی که مربوط به گذشته است، به‌معرفت تاریخی و به‌مسئله‌های پژوهشی آن، موقعیت خاصی می‌دهد که با مسئله‌های دیگر علوم انسانی تفاوت دارد. به دلیل همین ویژگی‌هاست که نقش روش‌های ریاضی در تاریخ، با نقشی که در علوم اجتماعی و اقتصاد دارد، نمی‌تواند یکی باشد. دراین‌هم تردیدی نیست که استفاده از روش‌های ریاضی در علم تاریخ (دست‌کم دروضع امروزی)، نمی‌تواند همان‌اهمیتی را داشته باشد که در علم اقتصاد و جامعه‌شناسی دارد. نقش تحلیل ریاضی مدارك تاریخی، به‌طور اساسی مربوط به اندازه‌گیری پدیده‌ها می‌شود، در این‌جا نمی‌توان منتظر چنان کاربرد گسترده‌ای بود که برای روش‌های ریاضی در دیگر علوم انسانی پیدا می‌شود (مثل پیشگویی‌عامل‌های مختلف پدیده‌ها یا وظیفه جهت‌یابی در سیبرنتیک اقتصادی).

دراین مورد تنها يك استثنا وجود دارد و آن، بررسی گذشته تاریخی نسبتاً نزدیک است. مطالعه پدیده‌های اجتماعی - اقتصادی مربوط به چند ده سال گذشته، درست مثل تجزیه و تحلیل پدیده‌های معاصر، اغلب می‌تواند به‌هدف آینده‌نگری خدمت کند و طبیعی است که این‌گونه پژوهش‌ها روی مدارك مختلف و از موضع‌های اندیشه‌ای متفاوت می‌تواند راهنمای هر تاریخ‌نویسی - بدون توجه به جهان‌بینی او - باشد. مثلاً، درعلوم‌شوروی، سازمان دستگاه مدیریت تولید، مورد مطالعه قرار می‌گیرد. سپس کوشش

می‌شود تا این دستگاه به صورت گراف درآید، که بتواند بهترین امکان این مدیریت را منعکس کند. در ایالات متحده آمریکا و فرانسه، به طور وسیعی از روی رأی‌هایی که به این و یا آن حزب سیاسی در بیست سال گذشته داده شده است، رفتار سیاسی قشرهای اجتماعی مختلف مردم را تجزیه و تحلیل می‌کنند. پیش‌بینی تمایلات سیاسی قشرهای مختلف اجتماعی در آینده هم بر اساس نتیجه‌گیری از همین گونه بررسی‌ها قرار دارد. د. کوئن، دانشمند آمریکایی، با مطالعه نقش زیردریائی‌ها در جنگ جهانی دوم، به کمک تجزیه و تحلیل ریاضی، کوشش کرد «مناسب‌ترین شکل توسعه زیردریائی‌ها را در جنگ‌های محدود آینده» معین کند.

به‌طور کلی، از دیدگاه شناخت‌شناسی، به‌سختی می‌توان بین پدیده‌های اجتماعی معاصر، که در جامعه‌شناسی و اقتصاد مورد بررسی قرار می‌گیرد، و پدیده‌های مربوط به گذشته نزدیک، که موضوع بررسی‌های علم تاریخ است، خط فاصل و جداکننده‌ای کشید. در این مقاله، همه استدلال‌هایی که درباره مسأله‌های روش‌شناسی کاربرد روش‌های ریاضی در تاریخ، به کار می‌بریم، به طور عمده، مربوط به گذشته دور یا «عصر بدون آمار» می‌شود. به این ترتیب، گفت و گو از دوره‌ای است که اختلاف اساسی آن با دوره معاصر مربوط به چگونگی آگاهی‌های آماری (کامل نبودن خبرها، و گاهی نداشتن اطمینان کافی به مجموعه آگاهی‌های موجود) و هدف بررسی‌هاست. روشن است که مرزهای تاریخی «عصر بدون آمار» برای کشورهای مختلف یکسان نیست. درباره کشورهای معینی که در مورد آن‌ها، پژوهش‌های آماری به صورت امروزی وجود نداشته است، «عصر بدون آمار» را باید تا ابتدای سده بیستم و حتی در بعضی موارد، تا مدتی پس از آن جلو آورد. وقتی که گفت و گو از دوران دور گذشته باشد، به علت نامرغوب بودن بعضی آگاهی‌های آماری، به نظر می‌رسد که برای مطالعه پدیده‌های مشخص، نمی‌توان مدل‌های بزرگ تقلیدی ریاضی ساخت که بتواند قانونمندی روند تاریخی را در جریان نسبتاً طولانی زمان و در قلمرو گسترده‌ای، تصویر کند و برای بازسازی آمار از دست رفته تاریخی به کار آید. چنین مدل‌هایی نمی‌تواند بدون موادی ساخته شود که برای توضیح قانونمندی

عمل پدیده‌ها در زمان و مکان، لازم هستند. مثلاً، از دوران بیزانس متأخر، آگاهی‌های ناسازگاری درباره ارزش کالاهای مختلف باقی مانده است. ولی، تعداد بسیاری از این مدارك، که در منابع مختلف وجود دارد، نمی‌توانند قانونی به اندازه کافی دقیق را برای يك دوره زمانی، معین کنند. در این مورد، چنین قانونی را، به كمك مدل‌های تقلیدی ریاضی هم نمی‌توان بیان کرد. این حقیقت به معنای آن است که پژوهشگر در موقعیتی نیست که بتواند بر اساس مداركی که درباره قیمت‌ها در بعضی سال‌ها وجود دارد، قیمت‌ها را برای سال‌های دیگر به دست آورد. نامطمئن بودن آگاهی‌های مربوط به «عصر بدون آمار» (و به طور عمده در مورد سده‌های میانه)، به خصوص از این جا ناشی می‌شود که بسیاری از منابع تاریخی مربوط به آن عصر که جنبه عددی پدیده‌ها را بیان می‌کنند، مبهم‌اند و ارزش مشخصی ندارند. مثلاً، با تجزیه و تحلیل صدها طومار انگلیسی سده سیزدهم، پژوهشگر تنها می‌تواند به تقریب معلوم کند که در آن دوران چه تعدادی از صاحبان آزاد، از دهقانان، و چه تعدادی از قشرهای غیردهقانی می‌زیسته‌اند. آنچه که در این باره در منابع اطلاعاتی وجود دارد، به اندازه کافی روشن نیست. تفسیر منابعی که مربوط به گذشته‌های دور است، دشواری‌هایی به وجود می‌آورد، و گاهی حتی اجازه نمی‌دهد که این آگاهی‌ها را روی نوار مغناطیسی بیاوریم تا بتوانیم از آن‌ها در کامپیوتر استفاده کنیم.

مجموعه این موقعیت‌ها، باعث می‌شود که امکان به کار گرفتن ریاضیات در تاریخ، در مقایسه با علوم اجتماعی که خیلی به تاریخ نزدیک است، کاهش یابد. با همه این‌ها، کاربرد روش‌های ریاضی در تاریخ، اهمیت بسیار زیادی دارد. برای نزدیک کردن مقادیر کمیتی بسیاری که به دست می‌آید، و همراه با آن به وجود آوردن فرضیه‌ای که آن‌ها را تعبیر می‌کند، می‌توان از مدل‌های کوچک، یعنی مدل‌هایی که نشانه‌های شخصی و مشخص يك پدیده را به حساب می‌آورد، (و مثلاً ویژگی‌های ساختی درآمدها را در هر ملك شخصی فتودالی) استفاده کرد.

لزوم ساختن مدل‌های کوچک در مورد گذشته‌های دور، از این جا هم روشن می‌شود که آگاهی‌های باقی مانده از این دوران، شامل مدرك‌هایی

است که اساساً به گروه‌های کوچکی مربوط می‌شود. به خصوص، منبع‌های تاریخی مربوط به تیول‌ها و ملک‌های شخصی فئودالی، از مقوله‌های اجتماعی متجانسی، در بین دهقانان وابسته، صحبت می‌کنند، که گروه‌های اجتماعی کوچکی را تشکیل می‌داده‌اند. مثلاً در لردنشین‌های انگلیسی، سرف‌ها، کوترها، ویلان‌ها و فریگولدرها کار می‌کرده‌اند، و هر کدام از این گروه‌های اجتماعی، به گواهی صدها طومار سده سیزدهم، جمعیت اجتماعی کوچکی را در داخل يك ملك تشكيل می‌داده‌اند که شامل تقریباً ۱۰ خانوار بوده است. به همین مناسبت، مطالعه گروه‌های کوچک در جامعه‌شناسی، می‌تواند برای بررسی روابط اجتماعی - اقتصادی سده‌های میانه، بسیار مفید باشد. با همه این‌ها، هنوز در علم تاریخ، از چنین مطالعه‌ای، استفاده نشده است. اندازه‌گیری پدیده‌های تاریخی، که بنا بر آگاهی‌های موجود و در دوران زمانی معین و منطقه جداگانه‌ای به دست می‌آید، یعنی ساختن مدل - های کوچک، به این معناست که به یاری روش‌های ریاضی بتوانیم خصلت‌های عددی رابطه‌ها، روندها، ساخت‌ها، تمایل‌ها، نقش‌ها، آهنگ‌ها و غیر آن‌را، به محاسبه درآوریم. در پرتو پیدا کردن این خصلت‌ها، موفق می‌شویم که شکل‌های مورد نظر واقعیت‌های تاریخی را با تفصیل بیشتر، و بنابراین، با عمق بیشتر، مورد مطالعه قرار دهیم.

با تجزیه و تحلیل کیفی پدیده‌ها، تنها می‌توان ارزیابی تقریبی و کوتاهی از چگونگی و تکامل آن‌ها به صورت قضاوت‌های به اصطلاح کمی‌تی یا آماری به دست آورد، از این نوع: نقش جدی (یا کم اهمیت)، تمایل ضعیف (یا قوی)، آهنگ رشد (یا سقوط)، رابطه پیش‌رفته (یا عقب مانده) و غیره. همان‌طور که می‌بینیم، چنین ارزیابی‌هایی که اغلب در بررسی‌های تاریخی پیش می‌آید، کاملاً مبهم و ناروشن‌اند. با وجود این، همین حقیقت که این گونه ارزیابی‌ها به فراوانی وجود دارد، بدون تردید می‌تواند دلیل بر امکان بالقوه اندازه‌گیری، در پدیده‌های تاریخی مورد نظر باشد. اگر بتوانیم ساخت‌ها، روندها، نقش‌ها، تمایل‌ها، آهنگ‌ها، و غیره را اندازه‌گیری کنیم، خواهیم توانست تصورها و قضاوت‌های کمی‌تی و آماری را که ضمن مطالعه کیفی مدل‌های تاریخی به دست آورده‌ایم، دقیق‌تر و مفصل‌تر کنیم. این

دقیق‌تر و مفصل‌تر شدن ناشی از این است که نشانه‌های کمیتی به دست آمده، که معمولاً در فاصله بین ۵ و ۱ تغییر می‌کنند، منجر به گسترش بیش از اندازه افق ارزیابی کمیتی می‌شود. به جای دو مقدار حدی، که ضمن تجزیه و تحلیل کیفی مورد قبول قرار می‌گیرد: قوی، ضعیف، بالا، پایین، پیشرفته، عقب مانده و غیره - محقق مقیاسی از مقادیر را در اختیار دارد که بین ۵ و ۱ تغییر می‌کند و در عمل، این مقیاس می‌تواند شامل ده‌ها، صدها و هزارها نشانه کمیتی باشد که اجازه می‌دهد جزئیات بافت پیچیده و نامتجانس شکل‌های متفاوت واقعیت‌های تاریخی را، که در تداوم زمان و مکان تغییر می‌کنند، مورد بررسی قرار دهیم. می‌توان نشانه‌های کمیتی مربوط به پدیده‌های مشابهی را که در ناحیه‌های مختلف به‌طور همزمان اتفاق افتاده است، یا پدیده‌های مشابهی را که در جریان زمان تکامل یافته‌اند، با هم مقایسه کرد. و این حاکی از آن است که به کاربردن روش‌های ریاضی، تا چه اندازه امکان استفاده از روش تاریخی - مقایسه‌ای را، گسترش می‌دهد (که یکی از مهم‌ترین روش‌ها در بررسی‌های تاریخی است و می‌تواند ضمن مطالعه تاریخ گذشته، مسیر و قانون نظریه‌های تاریخی را مجسم و تحکیم کند).

اندازه‌گیری پدیده‌های تاریخی، تنها به پیدا کردن خصلت‌های آماری منجر نمی‌شود، بلکه در مقایسه با مدل‌های ریاضی پیچیده‌تر، به شکل محاسبه‌ای در می‌آید. به این ترتیب، فقدان پیش‌بینی عوامل پدیده‌ها، در روابط گذشته دور، امکان کاربرد روش پیش‌بینی را از بین نمی‌برد. پیش‌بینی کردن به‌طور وارونه در گذشته، به وسیله‌ای تبدیل می‌شود که به کمک آن می‌توان پیشرفت و یا برعکس، سیر قهقرای اجتماعی را معین کرد. این روش، براساس روشن کردن يك رشته کشش‌های تاریخی درجه دوم قرار دارد، که در لحظه‌ای از دوران تاریخی مورد بررسی ما، نقشی اساسی داشته است (و چه بسا که خیلی هم دوام پیدا نکرده باشد)، و سپس به دلایل بسیاری، و گاهی هم به علت حادثه‌ها، اهمیت قبلی خود را از دست داده است.

موضوعی که باید بررسی کنیم این است: اگر این کشش‌ها، موقعیت اصلی و درجه اول خود را حفظ می‌کرد، چگونه می‌توان به یاری روش پیش‌بینی، خصلت‌های آماری تکامل چنین جامعه فرضی را معین کرد. مقایسه

تکامل واقعی جامعه (که اتفاق افتاده است)، با تکاملی که می توانست داشته باشد، همان روشی است که می تواند درجه پیشرفت اجتماع و یا سقوط آن را معین کند.

مثلاً، در کشورهای اروپای غربی و در دوران تکامل فئودالیسم، روابط کالائی - پولی به سرعت پیش می رفت و همراه با آن، برتری درآمد های پولی، به وجود آمد. ولی، دوره به اصطلاح ارتجاع فئودالی، یعنی برگشت به دستگاه بیگاری بهره کشی هم وجود داشت. این حرکت به عقب، مشروط به عامل هایی بود، که خصلت زمانی دارند و نمی توانست نقش تعیین کننده داشته باشد. ولی این موضوع خیلی جالب است که، دست کم روی نمونه تیول های مشخص، یعنی به یاری مدل های کوچک، بتوانیم اندازه پیشرفت اجتماعی را تعیین کنیم، که با فرض بزرگ کردن اندازه های نتیجه کلی اجتماعی، به نیرویی رسیده است که ارتجاع فئودالی را از بین ببرد و نقش درآمد پولی را رشد دهد. آیا می توان به یاری روش های پیش بینی، به تقریب به چنین محاسبه ای رسید؟ به این پرسش باید ریاضی دانان و ویژه کاران تاریخ سده های میانه، پاسخ بدهند. به هر حال، مثالی که در بالا آوردیم، يك موقعیت تاریخی را روشن می کند که در ارتباط با آن، طرح هر مسأله مشابهی بی معنی نخواهد بود، یعنی دارای اهمیت معرفتی خواهد بود.

به طوری که دیده می شود در چنین بررسی هایی، نمونه ای را در نظر می گیرند که غیر واقعی است، ولی بی معنی نیست و می تواند به طور واقعی، وجود يك کشش و تمایل تاریخی را منعکس کند. در نظر اول ممکن است گفته شود که يك نظریه غیر تاریخی نسبت به مسأله وجود دارد. ولی، این تنها دور شدن از اصل تاریخ گرایی است، در حالی که مقایسه روابط واقعی با اوضاع و احوالی که حقیقی نیست، ولی از نظر تاریخی کاملاً ممکن است، در هر بررسی تاریخی وجود دارد و مبنای بسیاری از ارزیابی هاست. مثلاً، وقتی که پژوهشگر از پیشرفت ضعیف روابط فئودالی در بیزانس قدیم صحبت می کند، در واقع به طور ضمنی (و البته نا آشکار)، این پیشرفت را با نمونه ای از تکامل روابط فئودالی مقایسه می کند. مدل ریاضی غیر حقیقی، عبارت است از مخرج بسیاری از ضریب هایی که برای تجزیه و تحلیل پدیده های

اجتماعی - اقتصادی و تاریخی به کار می‌روند. این ضریب‌ها، قبل از همه، ضریب‌های روابط متقابل است که اغلب در بررسی‌های تاریخی امروزی به کار می‌روند. مخرج چنین ضریبی، شامل مدل بستگی تابعی است که بین پدیده‌های مورد بررسی وجود دارد. این بستگی، حدی را نشان می‌دهد که روابط واقعی به سمت آن میل می‌کنند و اغلب هرگز به آن نمی‌رسند. این مخرج کسر بود. در صورت کسر ضریب روابط متقابل، مدل ریاضی حقیقی، گذاشته می‌شود، یعنی مدلی که وضع واقعی چیزها را بیان می‌کند. نسبت صورت به مخرج، اندازه نزدیکی روابط واقعی را به مدل غیرحقیقی، نشان می‌دهد.

د. فوگل<sup>۱</sup> دانشمند امریکایی، مسأله مربوط به پیش‌بینی نسبت به گذشته را، تا حدی به نحو دیگری حل می‌کند. او، درحالی که می‌کوشد اندازه صرفه‌جویی محیط اجتماعی امریکا را در پایان سده نوزدهم، که بر اساس وجود حمل و نقل به وسیله راه‌آهن به دست آمده است، روشن کند، مدل جامعه‌ای متضاد با حقیقت<sup>۲</sup>، یعنی از نظر تاریخی غیر واقعی را می‌ریزد که بنا بر آن در امریکا در پایان سده نوزدهم، راه‌آهنی وجود ندارد و بعد می‌کوشد تا روشن کند که جامعه امریکایی، در چنین شرایط خیالی، به چه نحو از عهده حمل و نقل کالاهایی بر می‌آمد که در واقع به کمک راه‌آهن، انجام گرفته است. با چنین طرحی، طبیعی است که دانشمند به پیش-بینی حمل و نقل آبی، ساختن جاده‌های شوسه‌ای که از نظر تاریخی وجود ندارد، و عامل‌های دیگری که خارج از واقعیت تاریخی هستند، در جامعه امریکا برای دوره‌ای که بررسی می‌کند، بپردازد. و این، به معنای آن است

---

۱. L.R.W. Fogel. The new Economic History. Its Findings and Methods. "Quantitative History". Homewood. 1969. P. 328sq

۲. ج. س. مارفی می‌گوید که مدل تاریخی متضاد با حقیقت، یک گزاره شرطی - استلزامی است از نوع «اگر چنین نبود، آنگاه...».

G.S. Murphy. On Counterfactual propositions. "Studies in Quantitative History and the Logic of the Social Sciences" History and Theory, 1969, Beiheft 9. P. 14.

که پژوهشگر به چنان موقعیت تخیلی تکیه می کند که نه تنها وجود نداشته است، بلکه حتی نمی توانست وجود داشته باشد، زیرا در تاریخ سده نوزدهم آمریکا، تمایل به اندازه کافی پایداری، برای مقاومت در برابر ساختن راه آهن وجود ندارد. به نظر می رسد که روش مدل های ضد حقیقت فوگل، اگر چه در تفسیرهای خود، امکان های جالب و بکری برای ارزیابی اندازه پیشرفت های تاریخی به دست می دهد، به علت این که به طور روشن و صریح از قانون های تاریخ گرایی دور می شود، نمی تواند به عنوان یکی از راه های اساسی درک پدیده های تاریخی به یاری روش های ریاضی باشد.

اندازه گیری پدیده های تاریخی، ممکن است به وسیله مدل ریاضی ساختمان انجام گیرد. مثلاً، برای مطالعه تولید فتودالی، ممکن است مدل ساختمانی مفیدی به معنای يك آلگوریتم (یعنی دنباله ای از عمل ها)، پیدا شود که، قبل از همه، بتواند درجه اختلاف دو مدل را ارزیابی کند: مدل غیر حقیقی که بهترین شرایط کار نوعی رابطه فتودالی را منعکس می کند، و مدلی که به طور واقعی، وجود روابط تولیدی را در تیول های مشخص، یا حتی در يك تیول ضمن يك دوره تاریخی، معین می کند. بهترین شرایط کارکرد نوع مشخصی از تولید فتودالی را می توان به کمک نشانه هایی که با تجزیه و تحلیل کمیتی و کیفی تولید فتودالی و با توجه به نتیجه هایی که از درک درست و علمی سده های میانه به دست می آید، معین کرد. علاوه بر این، آلگوریتم شامل معادله دیفرانسیلی است که بستگی بین تغییر درآمد اضافی کشاورزی را با اندازه سهم دهقانی برقرار می کند. استفاده از آلگوریتم، این امکان را به وجود می آورد که روابط مشخصی را که با بهترین شرایط کار کرد در نظر گرفته شده است، با نوع متناظر روابط تولیدی فتودالی، مقایسه و اندازه اختلاف آن ها را معین کنیم. به زبان دیگر، هدف آلگوریتم عبارت است از منظم کردن رابطه هایی که در چارچوب يك نوع مشخص از روابط تولیدی، مورد مطالعه قرار گرفته است.

پژوهشگران متمدنی، در عین حال که به امکان های فراوان استفاده از زرادخانه ریاضی دانش های نزدیک به تاریخ، برای بررسی های جداگانه ای در تاریخ، اعتقاد دارند، به این موضوع هم اعتقاد کامل دارند که مدل های ریاضی



اقتصاد و جامعه‌شناسی را، نمی‌توان به‌طور مکانیکی، درمورد تاریخ به‌کار برد. آن‌ها بیشتر به‌این جهت تمایل دارند که برای تجزیه و تحلیل روابط گذشته، روش خاصی پیدا کنند. مبالغه کردن در نقش روش‌های ریاضی، که گاهی به‌تمایل به بیان ساده‌ترین حالت‌های اجتماعی به کمک علامت‌های ریاضی منجر می‌شود، به همان اندازه (و اگر نگوییم بیشتر) استفاده غیر کافی از روش‌های ریاضی - آماری، ضمن تهیه مدارك لازم از سندهای تاریخی و به وسیله داده‌های آماری، خطرناك است. چنین قالب‌گرایی، گاهی بی‌معنی و مبتذل از آب درمی‌آید. مثلاً اگر روش كلوس را قبول کنیم، چه چیزی ممکن است به آگاهی‌های ما اضافه شود؛ ب. م. كلوس، کوشش می‌کند این حقیقت انتزاعی را، که هیچ معنای تاریخی ندارد، به کمک زبان علامتی بیان کند که: اگر همه عضوهای مجموعه مورد بررسی (مثلاً، دهقانان يك ده) دارایی خود را (مثلاً زمین‌های خود را) از دست بدهند، ولی یکی از آن‌ها، تمامی دارایی خود را حفظ کرده باشد، در آن صورت به طور نظری، این مالک ثروتمند، می‌تواند هر عضوی از این مجموعه باشد (هر کدام از دهقانان ده)، یعنی تمرکز حداکثر دارایی، ممکن است به تعداد عضوهای مجموعه (دهقانان ده مفروض) پیش آید.

روشن است که هر روش پژوهش‌گرانه‌ای، می‌تواند تا حد معینی، به طور سنجیده و عاقلانه، مورد استفاده قرار گیرد. این قانون کلی، که باید در هر کار علمی مورد توجه باشد، به خصوص درمورد کاربرد روش‌های ریاضی در تاریخ، باید به‌طور جدی‌تری در نظر گرفته شود، زیرا تاریخ، علمی است که همراه با خطاها و نشانه‌های عمومی و کمیتی، باید بسیاری از شکل‌های انفرادی، غیر تکراری و کاملاً کیفی زندگی مادی را، نیز مورد بررسی قرار دهد.

جهت بررسی‌های تاریخی را در غرب، می‌توان با این ویژگی مشخص کرد که نسبت به مفروض‌های عددی که در منابع تاریخی وجود دارد، توجه زیادی می‌کنند، و با آغاز از ساده‌ترین روش‌های آمار توصیفی و سرانجام رسیدن به مدل‌های پیچیده‌ای که ساخت پدیده‌ها و روندها را تثبیت می‌کند، از روش‌های ریاضی و ماشین‌های محاسبه استفاده می‌کنند و اغلب به آن

امریکایی که در زمینه تاریخ کمیتی کار کرده است، نظریه تاریخی می‌تواند «خیلی از رابطه‌هایی را که قبلاً (یعنی قبل از استفاده از نظریه تاریخی)، روشن نبود، آشکار کند». تاریخ‌نویسانی که به‌طور گسترده‌ای از روش‌های کمیتی استفاده می‌کنند، بر این موضوع تأکید دارند که داستان تاریخی «روش عینی» و به‌طور کلی، اثبات‌گرایی تجربی، ناکافی است. درحالی‌که قبول اهمیت نظریه تاریخی، با توجه به روش‌های تعمیمی خود، با اصل شناخت نظری، سازگار است.

واقرس می‌نویسد: «مجموعه‌ای از نظریه‌ها وجود دارد... بنابراین، مجموعه‌ای از تعبیرها هم وجود خواهد داشت».

به اعتقاد آی ده‌لوت، «تعمیم، چیزی جز نتیجه‌گیری منطقی از مدرک‌های موجود نیست، و بر نتیجه‌گیری جهت داده شده‌ای تکیه ندارد. این، تفسیری از مدارک موجود است که با اندیشه‌ای به‌موقع به‌دست می‌آید... بیشترین ارزش تعمیم، به‌خصلت نیمه‌شهودی بودن آن، مربوط می‌شود». دیگر طرفداران «تاریخ کمیتی» برای نظریه‌های تاریخی، خصلتی اکتشافی و استدلالی قایلند.

ضمن ارزیابی روش‌شناسی «تاریخ کمیتی» معاصر، باید این حقیقت را (به‌شهادت تمامی تاریخ‌فلسفه) - به‌حساب آورد که توجه به گذشته با دید نظری و اعاده حیثیت از نقطه‌نظرهایی که قبلاً طرد شده بود، به‌معنای این است که این نقطه‌نظرها، با حال و هوای کلی فلسفی، که در جریان است، تطبیق می‌کند. این حال و هوا، این زمینه کلی جهان‌بینی، که در آن می‌توان به‌خوبی اندیشه‌های فلسفی - تاریخی رو به‌رشد امروزی را در غرب و به‌خصوص آمریکا، مشاهده کرد، برخلاف اثبات‌گرایی سنتی، نشانه‌هایی از متافیزیک دارد و نظریه‌هایی به‌وجود آورده است که به‌جای استفاده مستقیم از مشاهدات مفروض؛ به‌نتیجه‌گیری از قضیه‌های درست می‌پردازد. ضمناً، هر نظریه، جدا از بررسی‌های مشخص تجربی، به‌عنوان دستگاه اصلی شناخت، در نظر گرفته می‌شود. به‌همین مناسبت است که آی ده‌لوت تأکید می‌کند که یک نظریه ذهنی و امپرسیونیستی، خیلی سودمندتر از انتخاب مدارک و حقایق است. او می‌گوید که «کلید درک گذشته در دنبال کردن سندها و مدرک‌ها

نام «تاریخ کمیتی» را می‌دهند. تاریخ‌نویسانی که در این گروه قرار می‌گیرند، چه از نظر دیدی که به‌طور کلی نسبت به ماهیت درک تاریخی دارند و چه از نظر نقشی که برای روش‌های ریاضی در تاریخ قائلند، مطلقاً یک‌دست نیستند. بعضی از آن‌ها به‌خصوص در چند ده ساله گذشته به استفاده از روش‌های ساده آماری قناعت می‌کنند، بدون این که به مدل‌های ریاضی پیچیده‌ای پردازند، این‌ها اصولاً به درک نظری پدیده‌ها و روندهای تاریخی اعتقادی ندارند. با وجود این، در ده ساله اخیر می‌توان اندیشه فلسفی - تاریخی غرب را، در مجموع، به‌صورت عقب‌نشینی از مکتب به اصطلاح تحلیلی یا انتقادی فلسفه تاریخ با تصوراتی که درباره وقایع نگاری به‌عنوان تنها شکل درست توضیح تاریخی و همچنین روش‌های نوکانتی درباره روش تصویری تاریخ - داشت، مشخص کرد. عقب‌نشینی از این مکتب را می‌توان در تمایل تاریخ دانان به تعمیم‌های کلی تاریخی و گرایش به روش‌ها و تلقی‌های جامعه‌شناسان و اقتصاددانان، ملاحظه کرد.

بسیاری از سخن‌گویان امروزی «تاریخ کمیتی»، به جریانی تعلق دارند که نه تنها روش آن‌ها، بلکه جنبه فلسفی - روش‌شناسی آن‌ها را هم مشخص می‌کند. اعتقاد زیادی به هواداران تعمیم‌های تاریخی پیدا شده است؛ این‌ها (با پیروی از علوم اجتماعی و یا نتیجه‌گیری از مدرک‌های تاریخی)، در موضع دفاع از نظریه قیاسی در تاریخ هستند<sup>۳</sup>. به این ترتیب، استفاده از روش‌های ریاضی به وسیله دانشمندان غرب، به ارزیابی جدید و غیرسنتی آن‌ها از ماهیت و ساختمان دانش تاریخ، مربوط می‌شود. نقش نظریه در تاریخ، که یکی از مسأله‌های اصلی روش‌شناسی است، هواداران «تاریخ کمیتی» را به خود مشغول داشته است. به اعتقاد آی‌ده لوت<sup>۴</sup>، تاریخ نویس

---

۳. واترس (W.R. Waters)، خود به وجود آمدن درک‌های تاریخی را «عبور منطقی - تاریخی» در تاریخ می‌نامد. به عقیده شونو (P. Chaunu)، استفاده از روش‌های آماری، نمی‌تواند مبثای برای بررسی‌های تاریخی از نوع «تاریخ کمیتی» باشد. برای این منظور، باید «گذشته را، مطابق مدل بازسازی کرد».

4. W.D. Aydelothe.

نیست، بلکه در تجسم و تصور است». و به یاد بیاوریم که فلسفه «تحلیلی» تاریخ، با ردمتافیزیک، هیچ گونه خصلت علمی برای چنان استنباط‌های تاریخی که متکی بر تحقیق تجربی نباشد، قائل نیست.

گرایش بعضی از سخن‌گویان امریکایی «تاریخ‌کمیتی» را، به اثبات‌گرایی اخیر، از روی شرح و تفسیری هم که دربارهٔ مسأله «تحقیق» می‌کنند، می‌توان دریافت. می‌دانیم که اثبات‌گرایان اخیر، برخلاف اثبات‌گرایان سنتی، برای تحقیق تجربی، اهمیتی قائل نیستند. آن‌ها تنها موقعیتی را درست به حساب می‌آورند که با نظریه‌ها، اصل موضوع‌ها و استدلال‌هایی که مورد قبول آن‌هاست، متناقض نباشد. تأکید دانشمندان امریکایی در این باره، که تحقیق تجربی نمی‌تواند کافی باشد، با این فلسفه، سازگار است. بنا به عقیده ای ده لوت، معیار درستی قضاوت‌های تاریخی این است که ویژه‌کاران، آن‌ها را بپذیرند، یعنی با درکی که ویژه‌کاران از گذشته دارند، نوعی «سازگاری» داشته باشد. ای ده لوت می‌نویسد: «قانونی بودن یک قضاوت تاریخی، به استدلال‌ها و شاهد مثال‌هایی که آن را تأیید کنند، بستگی ندارد، بلکه مربوط به این است که این استدلال‌ها و شاهد مثال‌ها مورد قبول یک متخصص یا تعداد زیادی از افراد باصلاحیت باشد». چون، روش‌های ریاضی مورد قبول همگان است، بنابراین به عمل آوردن داده‌های تاریخی به یاری ریاضیات می‌تواند وسیله‌ای برای تحقیق فرضیه‌های تاریخی باشد. ولی، تاریخ‌نویسان امریکایی، به هیچ وجه معتقد نیستند که ضمناً باید فرضیه‌های تاریخی را به محك حقایق و رویدادهای واقعی دنیای خارج زد<sup>۵</sup>. خود به خود معلوم است که تحقیق در مورد یک فرضیه تاریخی را نمی‌توان تنها به یاری مدارك موجود انجام داد<sup>۶</sup>، که البته ممکن است به‌تنهایی نتوانند طرح دنیای واقع را، به‌طور کامل منعکس کنند. فرض کنیم که براساس تحلیل کیفی مدرك‌ها و منبع‌های موجود، فرضیه‌ای دربارهٔ وجود بستگی متقابل محکمی بین پدیده‌ها، تنظیم شود. محاسبهٔ ضریب‌های این بستگی، باید خود نظریه را

5. J.R. Hollings worth, op. cit., p.239.

6. Ibid., p.238.

قبول و یا رد کند، یعنی اگر ضریب بالایی برای بستگی متقابل به دست آید، حقانیت فرضیه، و اگر ضریب پایینی پیدا شود، بی‌پایگسی آن را، نشان می‌دهد. ولی، اگر فرضیه مورد تأیید قرار گرفت، هنوز به معنای آن نیست که می‌تواند به‌طور کافی و شایسته، طبیعت پدیده مورد نظر را منعکس کند. چه بسا که مدرک‌های مورد استفاده پژوهشگر، کامل نبوده است و بعضی از آگاهی‌های اصلی، چه برای تنظیم فرضیه و چه ضمن تحقیق درستی آن به حساب نیامده باشد. به زبان دیگر، اگر محاسبه را «بر اساس فرض‌های غیر دقیق قرار داده باشیم»<sup>۷</sup>، وجود اشتباه، حتمی و اجتناب‌ناپذیر است. بنابراین، معرفت شهودی پژوهشگری که فرضیه را پذیرفته است، به شرطی که با تصورات و ویژه‌کاران با صلاحیت در مورد این پدیده متناقض نباشد، تنها ضامن درستی این فرضیه است.

ولی، پژوهشگران بسیاری هم هستند که در موضع دفاع از روش‌های کمیته قرار دارند و دربارهٔ مسألهٔ مربوط به تحقیق، به این روشنی «لادری» به حساب نمی‌آیند. لبرون<sup>۸</sup>، می‌نویسد: که تحقیق باید بر «مقابلهٔ عنصرهای نظریه با داده‌های قابل مشاهده» قرار گیرد. همان‌طور که دیده می‌شود، این دیدگاه، به آگاهی‌های تاریخی که از راه تحلیل انتقادی تاریخ-نویسان و مقابلهٔ مدرک‌ها و سندهای آن‌ها به دست آمده است، اطمینان زیادی نشان می‌دهد. ولی، این موضوع هم نمی‌تواند رابطهٔ بین مسألهٔ تحقیق فرضیه‌های تاریخی را، بابه کار گرفتن روش‌های ریاضی در بررسی‌های تاریخی، به‌طور کامل منعکس کند. در بعضی موارد، استفاده از روش‌های ریاضی، امکان تحقیق در تاریخ را، گسترش می‌دهد. استفاده از مدل‌های ریاضی (و معمولاً میکرومدل‌ها)، و مثلاً معادله‌های بازگشتی، یعنی معادله‌هایی که امکان برقراری رابطهٔ خطی را بین نشانهٔ اصلی و مؤثر با یک یا چند نشانهٔ سببی به وجود می‌آورد، به بازسازی آگاهی از دست رفته‌ای که معمولاً مربوط به حوزهٔ پیوستهٔ زمانی و فضایی محدودی است، کمک می‌کند. و

7. W.O. Aydelothe. OP. cit., P. 10.

8. P. Lebrun.

این بازسازی آگاهی، یا می‌تواند مستقیماً به قصد تحقیق مورد استفاده قرار گیرد، و یا خبرهای دیگری که در منابع‌های تاریخی وجود دارد، به مناسبت آگاهی اضافی که به دست آمده است، ارزش تازه‌ای پیدا کنند و امکان باز-بینی و تحقیق در نتیجه‌گیری‌ها را فراهم کند.

به عنوان نمونه‌ای از تأثیر عمل کرد ریاضی آگاهی‌های منبع‌های سده-های میانه، بر بازبینی نتیجه‌گیری‌های تاریخی، می‌توان از کوششی نام برد که برای به مدل درآوردن مالیات‌های مربوط به دهقانان بیزانسی سده چهاردهم در بعضی از ناحیه‌های مقدونیه جنوبی، به یاری مدل بازگشتی، و به وسیله نویسندۀ این مقاله، انجام شده است. جریان بررسی، به این ترتیب بود: ابتدا براساس منبع‌های موجود (سیاهه ملک‌های زراعتی) و از راه معمولی تاریخ‌نویسان، یعنی به کمک تحلیل‌های کیفی، معلوم شد که مالیات اصلی دهقانان، بستگی به اندازه زمین‌های زیر شخم، باغ‌های انگور و تعداد جانوران اهلی دارد. با تجزیه و تحلیل مستقیم و کیفی، به سادگی معلوم می‌شود که میزان تثبیت شده و دقیقی، درباره مالیات‌ها و خراج‌ها که يك بار برای همیشه معین شده باشد، وجود نداشته است. ظاهراً مقدار مالیات، بستگی به کیفیت زمین داشته است. روشن است که قدرت حکومت و مأمورین مالیاتی و عامل‌های غیر اقتصادی دیگری هم، در امر جمع‌آوری مالیات مؤثر بوده است. به این ترتیب، بین آنچه که مشمول مالیات می‌شد و مقدار مالیات، يك رابطه آماری، یعنی يك رابطه متقابل منطقی، وجود داشت. این بستگی را می‌توان به کمک معادله برگشتی اندازه گرفت. محاسبه، بنابر مدل نامبرده، نشان داد که میزان متوسط مالیات درباره موضوع‌های مختلفی که مشمول مالیات هستند، در روستاهای مفروض، چقدر است، بعد از محاسبه میزان متوسط مالیات بندی، مسأله تحقیق درستی محاسبه، پیش می‌آید. روشن است که نتیجه به دست آمده به شرطی درست است که بتوانیم همه موارد مالیاتی را در نتیجه تجزیه و تحلیل منابع موجود، به طور کامل روشن کنیم. ولی، اگر بعضی موارد مالیاتی وجود داشته است، که در منابع موجود مشخص نشده و بنابراین در مدل بازگشتی وارد نشده باشند، طبیعی است که محاسبه، اشتباه از آب درخواهد آمد.

برای روشن کردن این موقعیت، میزان متوسط مالیات سرانه دهقانان وابسته، که به کمک مدل بازگشتی به دست آمده بود، با میزان مالیات‌های ارضی که در منابع تاریخی، و به خصوص در «رساله مساحان» سده سیزدهم و بعضی سندهای دیگر وجود داشت، مقایسه شد. این مقایسه نشان داد که میزان مالیات ارضی که از محاسبه به دست آمده است، با آنچه که در منابع تاریخی وجود دارد، تطبیق می‌کند. بدون انجام تحلیل بازگشتی در مورد فهرست مفروض سده چهاردهم، نمی‌توانستیم روشن کنیم که آیا آگاهی‌های منابع درباره اندازه مالیات ارضی در تمام امپراطوری بیزانس و در ملک‌های دهقانان وابسته، صدق می‌کند و آیا می‌توان این میزان‌های مالیاتی را در سده چهاردهم به کار برد یا نه؛ تطبیق نتیجه‌گیری‌های تحلیل بازگشتی، با آگاهی‌های منابع موجود، ثابت می‌کند که میزان مالیاتی که در این منابع داده شده است، به صورت واحدی برای طبقه‌های مختلف امپراطوری اجرا می‌شده است و در سده چهاردهم نیز به طور گسترده‌ای به کار می‌رفته است. به این ترتیب، «رساله مساحان» و دیگر مدارکی که در جمع‌بندی تجزیه و تحلیل بازگشتی، مورد استفاده قرار گرفته بودند، ارزش تاریخی بیشتری پیدا می‌کنند، و علاوه بر آن، به کمک آگاهی‌های تازه‌ای که به دست می‌آید، امکانی هم برای تحقیق مدل بازگشتی پیدا می‌شود. تطبیق محاسبه با میزان مالیاتی که در منابع معین شده است، تأکیدی بر درستی و حقانیت محاسبه است.

به اعتقاد بسیاری از دانشمندان غرب، ساخت بررسی‌های تاریخی، برخلاف طرح سنتی داستانی، که تنها شامل تعمیم‌های تجربی است، و با وجود اختلافی که آگاهی‌های تاریخی با آگاهی‌های مورد اتکای دیگر علوم اجتماعی دارد، ساخت بررسی‌ها را در علوم اقتصادی و جامعه‌شناسی به‌خاطر می‌آورد. قبل از هر بررسی مشخص تاریخی، که متکی بر تحلیل منابع و مدارک باشد، نظریه قیاسی وجود دارد که در نتیجه مطالعه قبلی بسیاری از پدیده‌های مشابه، و به صورت فرضیه‌ای مورد قبول قرار گرفته است. هدف چنین نظریه‌ای این است که خط‌های اصلی انواع مربوطه ساخت‌ها را روشن می‌کند، مثل بستگی‌ها، روندها، شکل رفتار اجتماعی گروه‌های سیاسی و

غیره. بر مبنای نظریه، فرضیه‌ای درباره طرز کار ساخت مورد مطالعه و بستگی‌ها یا فعالیت‌های گروه‌های اجتماعی و سیاسی، داده می‌شود. این هم پدیده جالبی است که در مجموعه مقاله‌هایی که در امریکا درباره «تاریخ کمیتی» چاپ می‌شود، نوشته‌های زیادی وجود دارد که یا به کلی فاقد تحلیل ریاضی مدارك تاریخی است و یا داده‌های کمیتی، تنها به صورت جدول‌های عادی بستگی‌های درصدی، عرضه شده است. به عبارت دیگر، هیچ مبنایی برای بررسی‌های مربوط به «تاریخ کمیتی» وجود ندارد. تنها چیزی که می‌توان گفت این است که در این بررسی‌ها، کششی به طرف استفاده از روش‌های ریاضی پیدا شده است. در مقاله‌هایی که فاقد تحلیل‌های ریاضی آگاهی‌ها هستند، نخستین مرحله آمادگی، برای عبور به مدل بندی ریاضی، که در بیشتر موارد هم، حالت خاصی از يك نظریه اجتماعی و یا نظریه‌ای از علوم سیاسی است، دیده می‌شود. مرحله بعدی آن عبارت است از عبور به بیان کامل محتوی آن، به کمک مدل‌های ریاضی. به این ترتیب، مسیری که در مقاله‌های مجموعه دنبال می‌شود، به منظور ایجاد آمادگی برای رسیدن به دستگاه معادله‌های ریاضی است.

به اعتقاد بعضی از مؤلفین، گذار از تاریخ «تصادفی» به تاریخ «ادراکی» یا «ساختماني»، طرح دیگری از حقیقت تاریخی است.

فوره<sup>۹</sup> دانشمند فرانسوی، تصور می‌کند که وقتی بررسی‌های تاریخی با روش ادراکی انجام می‌گیرد، حقیقت صورتی تصادفی ندارد و محتوی آن به خصلت نظریه‌ای مربوط می‌شود که محقق تلاش می‌کند حقیقت مورد نظر خود را به کمک آن ارزیابی کند. به اعتقاد ای ده لوت، قضاوتی که بر اساس تحقیق يك حقیقت معین است و قضاوت به طور عام و کلی، تفاوت اساسی ندارند و «با توجه بیشتر معلوم می‌شود که قضاوت درباره يك حقیقت، متکی بر زنجیر پیچیده‌ای از مقایسه‌ها، فرضیه‌ها و تحقیق‌هاست». نمی‌توان مشاهده واقعت را، از درك درباره واقعت جدا کرد، زیرا مشاهده بدون درك را نمی‌توان به عنوان «وجودی» در نظر گرفت و ما با يك معمای اندیشه‌ای



رو به رو هستیم. هواداران به کار گرفتن روش‌های دقیق ریاضی و به اصطلاح عینی در تاریخ، در عین حال به صورت مدافعان «متافیزیک» درمی آیند. و روشن است که چنین معمایی، سرانجام منجر به عدم قبول شناخت واقعیت می‌شود. همان‌طور که قبلاً هم گفتیم، قبول اهمیت علمی طرح‌های نظری، بعضی از هواداران «تاریخ کمیتی» را به طرف استفاده از یک رشته نظریه‌ها و مدل‌های ریاضی می‌کشاند که مربوط به جامعه‌شناسی، علوم اقتصادی و علوم سیاسی است. در عین حال، خیلی از دانشمندان در امریکا، فرانسه و بلژیک خاطرنشان می‌کنند که در خیلی موارد، نمی‌توان از نظریه‌هایی که در علوم انسانی نزدیک به تاریخ به کار می‌رود، در بررسی‌های تاریخی استفاده کرد. آن‌ها همچنین یادآور می‌شوند که وقتی از مدل‌های ریاضی - اقتصادی، برای تجزیه و تحلیل پدیده‌های اقتصادی گذشته استفاده می‌شود، باید تأثیر پیچیده عوامل جورا جور تاریخی را هم به حساب آورد. و به عقیده مارچوسکی<sup>۱۰</sup> این عوامل باید به عنوان پایه‌ای برای «تاریخ کمیتی» باشند. به جز این، غالباً روی این مطلب تأکید می‌شود که نباید آگاهی‌هایی را که مورد مطالعه جامعه‌شناسی و علوم اقتصادی و سیاسی است، با آگاهی‌هایی که مربوط به تاریخ گذشته است، یکسان دانست، زیرا این دو نوع آگاهی، چه از نظر دقت و کمال خود و چه از نظر منابع مورد استفاده، با هم اختلاف دارند. ولی، دانشمندان غرب، با همه تأکید منصفانه‌ای که بر خصوصیت‌های آگاهی - های تاریخی دارند، همیشه بر ویژگی خود پدیده‌های تاریخی و یکسان نبودن آن‌ها، با پدیده‌های مشابهی که امروز وجود دارد، تکیه نمی‌کنند. با این عقیده هم نمی‌توان موافق بود که گویا نظریه‌های اقتصادی، به خاطر «جبری بودنشان» است که نمی‌توانند مورد استفاده تاریخ نویس باشند. روشن است که یکسان نبودن پدیده‌هایی که نقش اجتماعی مشابهی در گذشته و حال داشته‌اند، به اندازه (و اگر نگوییم بیشتر از) نارسایی آگاهی‌های تاریخی، مانع از کاربرد وسیع مدل‌هایی، در تاریخ می‌شود که به طور گسترده‌ای در جامعه‌شناسی و علوم اقتصادی و سیاسی به کار می‌روند. مثلاً، عوامل

10. J. Marczewski.

جدی بسیاری وجود دارد که رابطه‌های مربوط به تعیین قیمت در جامعه سرمایه‌داری امروزی را، با رابطه‌های متناظر آن، در جامعه‌های قبلی سرمایه‌داری، متفاوت می‌کند. و این وضعیت، مانع از آن می‌شود که بتوانیم مدل‌های ریاضی را که منعکس‌کننده ارزش سرمایه در کشورهای دوران معاصر است، برای تعیین بها در دوره‌های قبل‌تر به کار ببریم.

نمونه کاربرد نادرست مدل‌های علوم مجاور در تاریخ، تلاشی است که ظاهراً تاریخ‌نویسان امریکایی، برای مدل‌بندی ساختمان اقتصاد قرون وسطایی و از راه دستکاری در دستگاه معادله‌های موازنه، که برای مطالعه ساختمان تولید معاصر به کار می‌رود، آغاز کرده‌اند. به کمک نشانه‌های ریاضی و منطقی، روند تولیدی ده، با توجه به هر محصول به طور جداگانه ثبت می‌شود و به این ترتیب مدل منطقی و غیرمحاسبه‌ای داده می‌شود. اگر به جای نشانه‌های منطقی، از نشانه‌های جمع و تساوی استفاده شود، می‌توان از مدل منطقی، به دستگاه معادله‌های ریاضی رسید. براساس دستگاه معادله‌ها، امکان محاسبه عایدی خالص در ده به دست می‌آید. محاسبه، خیلی آسان به نظر می‌آید. برای این منظور، باید اختلاف بین مقدار عایدی ناخالص محصول را، که در ده به دست می‌آید، با مقدار مخارجی که برای به وجود آمدن این محصول لازم است، محاسبه کرد. فرض کنیم که صحبت بر سر محصول یک مزرعه گندم باشد. عایدی خالص به این ترتیب محاسبه می‌شود که از مجموع عایدی ناخالص گندم، مجموع خرج‌ها را کم کنیم؛ این خرج‌ها عبارتند از قیمت مقدار گندمی که برای بذر سال آینده باید نگه داشت، و ارزش مقدار گندمی که معادل باکاری است که برای تولید این گندم‌ها، انجام شده است.

پرسشی پیش می‌آید: ارزش معرفتی این مدل چقدر است، یعنی آیا می‌توان به کمک این مدل، دانش خود را درباره اقتصاد محدوده مورد بررسی، عمیق‌تر کرد؟ دستگاه معادله‌های موازنه در علم اقتصاد امروز، اهمیت زیادی دارد. به یاری این معادله‌هاست که می‌توان میزان مخارج تولیدی را، که برای به دست آوردن مقدار معینی محصول در فاصله زمانی مشخصی لازم است، پیش بینی کرد، یعنی مخارجی که برای تأمین حداکثر صرفه-

جویی در تولید، لازم است. به کار بردن این مدل در مورد اقتصاد سده‌های میانه، در واقع، خصلت بررسی آن را تغییر می‌دهد. به این معنی که دیگر مسأله پیش‌بینی منتفی می‌شود و به جای آن، بازسازی ساختمان پدیده‌ها را، بر اساس تجزیه و تحلیل آگاهی‌های گذشته، هدف خود قرار می‌دهد. قبلاً یادآوری کردیم که در بعضی موارد دیگر، مدل‌بندی ریاضی می‌توانست به بازسازی گذشته تاریخی، کمک زیادی بکند. نمونه‌های بسیاری می‌توان آورد که با به کار بردن معادله بازگشتی، به نتیجه‌گیری‌های درست و سودمندی برای بازسازی آگاهی‌های ناقص و نارسای گذشته رسیده‌ایم. ولی، در این حالت، با نفی مسأله پیش‌بینی، حل دستگاه معادله‌های موازنه، ضمن تجزیه و تحلیل اقتصاد گذشته، به نتیجه‌گیری‌های بی‌معنی و مبتدلی، منجر می‌شود.

پژوهشگران اقتصاد بسته سده‌های میانه، از خیلی پیش، بر اساس آگاهی‌های موجود تاریخی، و بدون استفاده از دستگاه معادله‌های موازنه، کوشش می‌کردند که بررسی‌هایی در مورد محصول‌های تولیدی چنین اقتصادی، انجام دهند. مثلاً ۱. آ. کوسمینسکی اندازه محصول اضافی را که بعد از پرداخت اجاره، باقی می‌ماند، به تقریب ارزیابی می‌کند. هیلتون<sup>۱۱</sup>، متخصص انگلیسی سده‌های میانه هم، مقدار محصول اضافی مالکان نیم‌سهمی را به طور کاملاً تقریبی، معین می‌کند. برای انجام چنین محاسبه‌هایی، در کنار منابع سده‌های میانه، مدارک لازم وجود دارد. بسیاری از صورت حساب‌ها، شامل آگاهی‌هایی درباره مقادیر مختلف بذر افشانی و میزان ناخالص محصول آنهاست. علاوه بر آن، در همین منابع درباره مخارج مربوط به خرید و تعمیر ابزارهای زراعتی و دستمزد کارگران روز مزد هم، صحبت شده است. با در دست داشتن این مدارک (که ضمن استفاده از دستگاه معادله‌های موازنه باید مجهول فرض شوند)، مسأله محاسبه درآمد خالص، خیلی ساده و منجر به پیدا کردن تفاضل خرج و دخل تولیدی می‌شود. و این به معنای آن است که استفاده از معادله‌های موازنه، در چنین حالتی، کاملاً بی‌معنی است. وقتی که چنین روش ساده‌ای برای محاسبه وجود دارد، چه نیازی به بحث‌های

11. R. H. Hilton.

صوری، یعنی درست کردن معادله‌های ریاضی است؟

هواداران «تاریخ کمیتی»، گاهی می‌کوشند تا با استفاده از نظریه‌های علوم اجتماعی، به نوعی معرفت خاص تاریخی برسند که بتواند پدیده‌های گذشته‌های دور را روشن کند. ولی، این روش نمی‌تواند به معنای استفاده از دستگاه‌های ریاضی در تاریخ باشد. چنین روشی تنها یک تصویر کلی در جهت مورد نظر به دست می‌دهد و امکان هیچ گونه محاسبه‌ای با خصلت عددی لازم را ندارد و بنابراین هیچ آگاهی تازه‌ای به ما نمی‌دهد. مثلاً ساختمان سلسله مراتبی جامعه قرون وسطایی، شباهت به شکل خاصی از هرم دارد. ولی، خصلت‌های عددی هرم (سطح، حجم و غیره)، که می‌توانستند به اندازه‌گیری درجه سلسله مراتبی در جامعه مورد بررسی کمک کنند، مورد استفاده قرار نمی‌گیرد. پژوهشگران تنها به شکل فضایی هرم توجه دارند، تا به آن وسیله ویژگی اختلاف طبقاتی را در دوران سده‌های میانه، به صورت عینی‌تری نشان دهند.

اهمیت زیادی که هواداران «تاریخ کمیتی» به نظریه‌های اجتماعی و اقتصادی می‌دهند، نه تنها این حقیقت را منعکس می‌کند که در غرب، نفوذ روش‌های ریاضی در بررسی‌های تاریخی، به شدت زیر تأثیر به ریاضی درآمدن علوم اجتماعی است، بلکه ضمناً، ضعف کامل «تاریخ کمیتی» را هم نشان می‌دهد. آن‌هایی که احساس می‌کنند که باید روندهای تاریخی را، به صورت نظری درآورد، در برابر خود، مجموعه‌ای از نظریه‌های اجتماعی و اقتصادی را قرار داده‌اند، که تنها می‌توانند با روش‌های ریاضی، جنبه‌های مختلف پدیده‌های اجتماعی را روشن کنند و طبعاً هیچ راه مستقلی در برابر تاریخ نمی‌گشایند. تنها در سال‌های اخیر است که تاریخ‌نویسان غرب متقاعد شده‌اند که استفاده از دستگاه‌های صوری جامعه‌شناسی و علوم اقتصادی و سیاسی، برای بررسی‌های تاریخی، نارسا و غیر کافی است.

می‌توان نمونه مشخصی از روابط تاریخی آورد که برای مطالعه آن، دستگاه ریاضی خاصی لازم باشد و روشن کرد که روش‌های ریاضی مورد استفاده در اقتصاد، برای این منظور نارسا و غیر کافی است. صحبت بر سر نابرابری اقتصادی، در دوره‌های مختلف تاریخی است. در علوم اقتصادی، برای

اندازه‌گیری نابرابری‌ها، از به اصطلاح منحنی لودنسی استفاده می‌کنند. ضریب‌هایی هم وجود دارد که بیان تحلیلی این منحنی را می‌دهند؛ با استفاده از این ضریب‌ها، می‌توان درجه تمرکز صورت معینی از دارایی عمومی را در مجموعه مورد بررسی، اندازه گرفت. ضریب‌ها بین ۱۰۰، تغییر می‌کنند. نزدیکی به واحد، درحالتی به دست می‌آید که تقریباً همه صورت‌های مختلف دارائی‌های عمومی، در مجموعه مورد بررسی، در دست‌های محدودی، متمرکز شده باشد. ضریب‌ها، به‌طور کلی برای مسأله نابرابری، می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. فرض کنید که بخواهیم مسأله نابرابری را در مقیاس تمامی اجتماع بررسی کنیم، که در آن عده محدودی از طبقه‌ها کم، بیشترین مقدار دارایی اجتماع را را در اختیار داشته باشند (مثلاً، تمام زمین‌ها متعلق به گروهی از مالکین باشد). در تاریخ‌نگاری امریکایی، این ضریب‌ها را برای مطالعه نابرابری در بولیوی در ۵۰ سال سده اخیر به کار بردند، که در آن ۱۰٪ از مالکین، صاحب ۹۰٪ زمین‌ها بودند. همچنین استفاده از این ضریب‌ها برای بررسی سرمایه‌داری انحصار طلب امروزی هم مفید است، که تمرکز قسمت بیشتری از سرمایه در دست عده کمی انحصار طلب، از ویژگی‌های ساختمانی آن است.

در بخشی که برای نحوه کاربرد روش‌های ریاضی در بررسی‌های تاریخی انجام دادیم، می‌توان نتیجه‌گیری‌های کلی به دست داد. از نیمه‌های سده بیستم، بیش از بیست سالی است که تاریخ نویسان، به طرف روش‌های ریاضی و به ریاضی در آوردن آگاهی‌های تاریخی، جلب شده‌اند، و بیش از همه در مورد تاریخ سده‌های میانه، روش‌های تازه را به کار برده‌اند. استفاده از کامپیوتر هم، منجر به موفقیت‌های زیادی شده است. از نظر روش‌شناسی، مسأله‌های مختلفی حل شده است. با وجود این، هنوز کار مشترک تاریخ نویسان و ریاضی دانان نتوانسته است چنان مدل‌های ریاضی به وجود آورد که بتواند برای تجزیه و تحلیل گذشته‌های دور، به‌طور کافی و کامل مورد استفاده قرار گیرد. ولی، این امید پیدا شده است که بررسی‌های بعدی، بتواند چنین مدل‌هایی را به وجود آورد. باید امیدوار بود که همکاری ثمر بخش تاریخ دانان

و ریاضی دانان، منجر به پیدایش شاخه خاصی از ریاضیات بشود و چنان معرفت  
صوری و چنان مدل‌هایی به وجود آورد که به کار تجزیه و تحلیل پدیده‌های  
گذشته دور بخورد.

# ریاضیات در زیست‌شناسی<sup>۱</sup>

ادوارد مور

زیست‌شناس‌ها از دستگاه ریاضی استفاده می‌کنند، مگر وقتی که دستگاه‌های پیچیده‌ای که در مورد بررسی آن‌ها است، در برابر توضیح ریاضی مقاومت کند. از لحاظ نظری، حتی تحلیل ساز و کار تولید خود به خودی هم می‌تواند در آینده منجر به چنین توضیحی بشود.

دکارت، موجودات زنده و انسان را، به استثنای جان و روان او، مثل یک ماشین می‌دانست. یک روز، وقتی که به ملکه مسیحی سوئد درس می‌داد، ملکه از او پرسید: «ولی چگونه ماشین می‌تواند خودش را تولید کند؟» همین پرسش، امروز هم، ریاضی‌دانانی را که مرزهای ممکنه ماشین را بررسی می‌کنند برآشفته کرده است. آن‌ها در تلاش‌های خود برای ساختن نظریه ریاضی تولید مثل، از روش‌های ریاضی برای مطالعه جریان‌هایی که تا امروز صرفاً زیستی به حساب می‌آیند، استفاده می‌کنند.

اما، این کار، آنقدرها هم ساده نیست. با وجودی که از حدود ۳۰۰ سال پیش به این طرف، فیزیک و ریاضیات به‌طور سریعی پیش رفته‌اند و هر کدام باعث غنی‌تر شدن دیگری شده است، اندیشه پیشگام ریاضی، راه اندکی را به طرف زیست‌شناسی پیموده است. من چند استثنا را به خاطر می‌آورم. توماس مالتوس مدل ریاضی درست کرد که بنابر آن، جمعیت بشر با تصاعد هندسی رو به افزایش است، درحالی که تولید خواروبار به نسبت

---

1. Edward Moor mathematics in the biological sciences Scientific American, No 9. 1964.

تصادد عددی رشد می‌کند، و این سبب «مبارزه به‌خاطر هستی» می‌شود. چادلز داروین و آلفردیولس که با آثار مالتوسی آشنا بودند، در این مبارزه، تأثیر قانون انتخاب طبیعی را می‌دیدند. به عبارت دیگر، درك خالص ریاضی به پیشرفت فکر اصلی تکامل تدریجی موجودات زنده، كمك کرد.

زیست‌شناسی به ندرت توانسته است وسیله پیشرفت ریاضیات باشد. به این مفهوم باید به مطالعه ژنتیک جنس توجه کرد. د. آ. فیشر در انگلستان و سیوئل (ایت در امریکا، مدل‌های ریاضی ساختند که بنا بر آن، عمل مشترك قوانین وراثت و عامل‌های تصادفی که حالت انتظار یا نابودی يك ژن معین را در جنس تأمین می‌کرد، نمایش می‌داد. مدل بسیار پیچیده (ایت، بر نظریه پراکندگی (دیفوزیون) متکی است. این مطلب باعث شد که ویلیام فلر از دانشگاه پرینستون، رشته‌های تازه‌ای از ریاضیات را مورد بررسی قرار دهد. البته، زیست‌شناسان، در کارهای روزانه خود، از ریاضیات استفاده می‌کنند. مثلاً برای هر بررسی که انجام می‌شود، زیست‌شناس‌ها باید نتیجه‌هایی را که به دست می‌آورند، در معرض آزمون‌های آماری معینی قرار دهند (بعضی از این آزمون‌ها به وسیله فیشر انجام شده است). گاهی هم از هندسه تحلیلی استفاده می‌کنند، تا به كمك آن بستگی‌های مشاهده‌ای را به صورت منحنی درآورند. زیست‌شناسان، با معادله‌های ترمودینامیک هم آشنا هستند. آمار، در كشف رموز قانون‌های (كدهای) ژنتیک و در بررسی ساخت ژن‌ها، نقش فوق‌العاده اساسی دارد. ولسی همه این‌ها ریاضیات سنتی هستند. تلاش‌های نومیدانه زیادی هم برای ساختن «بیولوژی ریاضی»، انجام گرفته که قسمت بزرگی از آن‌ها، حتی انتظارهای اولیه را هم برآورده نکرده است. با همه این‌ها، این احتمال وجود دارد که تازه‌ترین بررسی‌های ریاضی با استفاده از ماشین‌های محاسبه، بیش از پیش، ما را به مدل‌هایی از جریان‌های زیست‌شناسی برساند که به مرزهای سادگی نزدیک شده باشد.

ارزش اساسی ریاضیات برای زیست‌شناسی، در این نیست که به عنوان ابزاری مورد استفاده قرار گیرد، بلکه در نیروی انتزاعی بودن آن است: که موضوع‌های اساسی را بر ملا و بستگی بین ماهیت‌ها و جریان‌های گوناگون را قابل لمس می‌کند. ارگانیزم، يك ماشین است، اگر چه بسیار



پیچیده و بغرنج باشد، به نظر من، همکاری اصلی ریاضیات با زیست‌شناسی، از راه پیدا کردن يك رشته مسأله‌های منطقی در نظریه‌های مربوط به ماشین، به وجود می‌آید، زیرا معلوم شده است که بین این نظریه‌ها و مهم‌ترین مسأله‌های زیست‌شناسی، بستگی عمیقی وجود دارد، و همین موضوع، زمینه اصلی بحث ما را در این مقاله تشکیل می‌دهد.

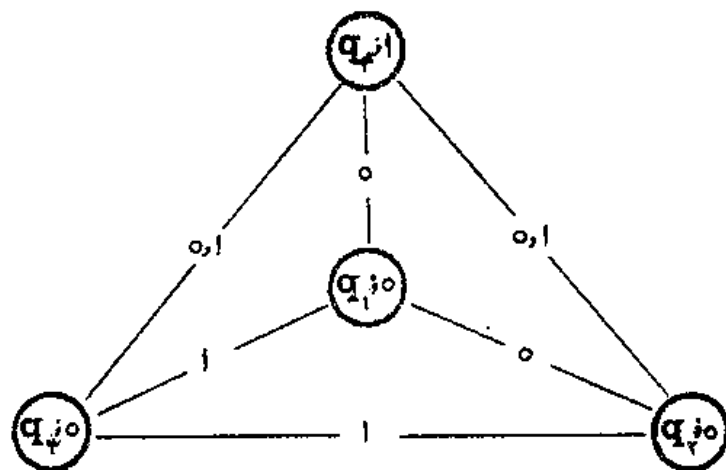
کلودشه‌نون (انستیتوی صنعتی ماساچوست) و جون ماکادتی (دانشگاه استانفورد)، متوجه شدند که آدمی، ارگانیزم انسانی را با ماشین مقایسه می‌کند، و همیشه نوع ماشینی را که برای این منظور انتخاب می‌کند، منعکس‌کننده دورانی است که در آن زندگی می‌کند. دکات، ارگانیزم را با ساعت‌های پیچیده آبی، مقایسه می‌کرد، در ابتدای سده بیستم، مغز را شبیه دستگاه مرکزی تلفن خودکار می‌دانستند. سپس، در زمان ما، ارگانیزم موجودات زنده را يك کامپیوتر به حساب می‌آورند. شاید، به همین علت باشد که بسیاری از دانشمندانی که به بررسی مقایسه موجودات زنده و ماشین مشغول‌اند، توجه خود را روی دستگاه مرکزی پی‌ها متمرکز کرده‌اند و به این مناسبت دو پرسش را در برابر خود قرار داده‌اند: آیا می‌توان مغز را به عنوان يك دستگاه محاسبه‌ای، کامپیوتر، مورد بررسی قرار داد؟ آیا می‌توان ماشین محاسبه‌ای ساخت که بتواند مثل مغز «فکر کند»؟

در این مورد، جهت‌های گوناگونی برای بررسی پیدا شد، ولی اساس بیشتر آن‌ها بر تصور يك ماشین «خودکار» واقعی و یا قسمتی از آن بود. وقتی که لازم است تناظری بین کار ماشین و کار پی‌ها بشود، یکی از اندام‌های کامل و یا قسمتی از آن و مثلاً يك سلول آن را، انتخاب می‌کنند. در نظریه خودکار، ساختمان درونی آن‌ها مورد بررسی قرار نمی‌گیرد، بلکه به خاصیت‌های مشخصه بیرونی آن‌ها توجه می‌شود. به قول جون فون نیومان فقید، عناصر ماشین‌ها یا اندام‌ها «... به عنوان خودکارهایی مورد بررسی قرار می‌گیرند که لازم نیست ساختمان درونی آن‌ها معین شود، بلکه عکس‌العمل‌های کاملاً معینی که در برابر محرک‌های کاملاً مشخص نشان می‌دهند، مورد توجه قرار می‌گیرد».

به این مفهوم انتزاعی، یکی از مفیدترین چیزها «خودکار محدود» است. این «جعبه سیاه»، دارای تعداد محدودی سازمان‌های درونی جدا از هم می‌باشد و معمولاً تعداد محدودی راه ورود و خروج دارد. وضع خودکار و خروج آن، در هر لحظه زمانی  $T$ ، بستگی معینی با وضع و ورود آن در

لحظه زمانی قبلی، یعنی ۱-T دارد. با در دست داشتن يك خودکار محدود و مجموعه‌ای از قانون‌هایی که انتقال آن را از وضعی به وضع دیگر معین کند، می‌توان با اطلاع از وضع اولیه و تسلسل ورودی، وضع و خروج خودکار را در هر لحظه زمانی پیدا کرد. قانون‌های انتقال را می‌توان به صورت جدول یا طرح تصویری نشان داد (شکل ۱).

وضع قبلی	وضع جاری		وضع جاری	خروج جاری
	۰	۱		
$q_1$	$q_4$	$q_3$	$q_1$	۰
$q_2$	$q_1$	$q_3$	$q_2$	۰
$q_3$	$q_4$	$q_4$	$q_3$	۰
$q_4$	$q_2$	$q_2$	$q_4$	۱



شکل ۱. خودکار محدود عبارت است از يك ماشین یا قسمتی از این ماشین تکامل یافته: در نظریه خودکارها، این قسمت اساسی از دستگاه‌هایی است که ساده‌ترین آن‌ها دستگاه اعصاب و ماشین‌های محاسبه است و به ماشین‌هایی که تولید مثل می‌کنند، ختم می‌شود. خودکار را می‌توان با دو جدول شرح داد: جدول اول (بالا و سمت چپ)، تغییر وضع را در واحد زمان و در ارتباط با ورود می‌دهد. جدول دوم (بالا و سمت راست)، خروج از هر وضع را نشان می‌دهد. این شرح را با طرح تصویری هم می‌توان داد (پایین). در رأس‌ها، وضع‌ها و خروج‌ها نشان داده شده است، و تنها انتقال را برای هر ورود می‌دهند.

وقتی که با خودکار محدود کار می‌کنیم، مهم این است که وقتی از وضع و چگونگی آن گفتگو می‌کنیم، بتوانیم معنای این چگونگی را پیش خود تصور کنیم. وضع يك خودکار محدود، که برای کار طرح‌ریزی شده است، مثلاً يك ماشین حروفچینی، خیلی ساده «باز» یا «بسته» نمی‌شود. این وضع را، اجزاء مختلفی، مثل چرخ‌دنده‌ها و اهرم‌ها به وجود می‌آورد که از بیرون دیده نمی‌شود و با انتقال شستی‌های حروف که در بیرون قرار دارد، انجام می‌گیرد (شکل ۲).

ا. ماکالوک و ا. د. پیتس، در سال ۱۹۴۳ در انستیتوی صنعتی ماساچوست، نمونه انتزاعی و کاملاً ساده‌شده‌ای از عضو اصلی دستگاه عصبی، یعنی سلول عصبی را، ساختند. در واقع، این يك خودکار محدود با دو وضع ممکن بود: تحريك شده و آرام. آن‌ها، با ترکیب این عضوها، یا سلول‌های عصبی صوری، نخستین نمونه دستگاه عصبی را ساختند. بعد، س. ک. کلینی (از دانشگاه ویسکانسین) يك قضیه کلی ثابت کرد که به کمک آن می‌شد، ویژگی رفتاری را که می‌توان از شبکه عصبی ماکالوک پیتس انتظار داشت، پیش‌بینی کرد.

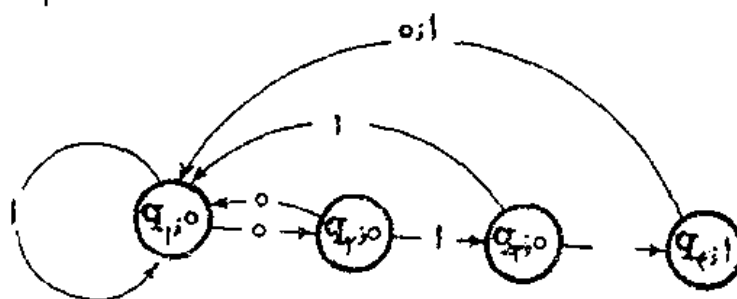
قضیه کلینی، برای هر ساخت و نظامی که تعداد حالت‌های آن محدود باشد، درست است، بدون اینکه ناچار باشد که از سلول‌های عصبی ساخته شده باشد. وسیله‌ای که برای تحلیل روندهای دستگاه عصبی آماده شد، منجر به نتیجه‌های نظری تازه‌ای در منطق و مهندسی برق، شد.

آ. م. تیودینگ، منطقی انگلیسی، در طرح مسأله «ماشین متفکر» از راه دیگری وارد شده است. او بدون اینکه درباره فیزیولوژی مغز، فرضی بکند، این مسأله را در برابر خود قرار می‌دهد: درست کردن خودکاری با اصطلاح‌های منطق ریاضی، به نحوی که اساساً بتواند از عهده هر گونه محاسبه کاملاً مفصل برآید. ماشین تیودینگ کار می‌کند و تعداد بسیار زیادی از عمل‌های ساده را انجام می‌دهد. این هم، يك خودکار با تعداد محدودی حالت است، منتهی «نواری» به طول نامحدود برای آن تدارك شده است. برنامه آن، روی تکه نوار محدودی ثبت می‌شود. وقتی که ماشین، به اندازه کافی کار کند، «سر» او فرمانی را که نوشته شده است، می‌خواند و نتیجه

را در جای آزاد همان نوار، چاپ می کند. قیودینگک نشان داد که حتی می توان ماشین «همه کاره ای» برای انجام هرگونه محاسبه ای که ممکن باشد، ساخت. اگر آن را با شرح دستور و ماشینی که بتواند این دستور را انجام دهد، مجهز کنیم، آنوقت، ماشین «همه کاره» به کار می پردازد، مثل اینکه دستور را انجام بدهد و در واقع هم، انجام می دهد.

چه مدل شبکه عصبی ما کالوک - پیتس و چه مفهوم انتزاعی تر ماشین قیودینگک، باعث پیدایش فرضیه های جالبی درباره طبیعت ماشین و درباره امکان های عظیم ماشین ها، شده است. متخصصین نظریه خودکارها، مثلاً می کوشند استعداد و توانایی دستگاه های زیستی را درباره بازیابی و اصلاح خود، و درباره اطمینان به ادامه کار آن - علیرغم عدم اطمینانی که نسبت به اجزاء ترکیبی آن وجود دارد - مدل بندی و طرح ریزی کنند. فون نیمن،

وضع جاری		وضع جاری		خروج جاری	
وضع قبلی	۰	۱	$q_1$	۰	
	$q_1$	$q_2$	$q_2$	۰	
	$q_2$	$q_1$	$q_3$	۰	
	$q_3$	$q_4$	$q_1$		۱
	$q_4$	$q_1$	$q_1$		



شکل ۲. ماشین حروف چینی را می توان به زبان خودکار محدود، شرح داد. توالی ورود، عبارت است از ترکیب های حرف ها. در این مثال ساده، این ترکیب، عبارت است از: ۰، ۱، ۰. خروج ۱ به معنای «باز» است.

نشان داد که چگونه می‌توان ماشین را ساخت که به شکل مورد نظر ما کار کند و حتی، وقتی که ضمن کار، بعضی از اجزاء آن از کار بیفتد، کار آن قطع نشود. مثلاً از راه زیاد کردن مقدار عناصر منطقی و تعداد اتصالات بین آن‌ها در کامپیوترها می‌توان به این مقصود رسید. بازسازی خود و تکثیر، که اهمیت فوق‌العاده‌ای از نظر طراحان کامپیوتر و دیگر دستگاه‌های خودکار دارد، در زمان ما عده زیادی را به خود مشغول داشته است.

بدون تردید، سلول عصبی، کلید ساده‌ای نیست که در هر لحظه زمانی دو حالت «قطع» و «وصل» را داشته باشد. در این موضوع هم شکی نیست که کامپیوتر، «ماشین متفکر» نیست. ممکن است بشود ماشین‌های بهتری ساخت که مغز را، به صورتی که ما امروز می‌شناسیم، مورد تقلید قرار دهند، ممکن هم هست راه‌های کوتاه‌تری وجود داشته باشد که بهتر و کامل‌تر از ساختمان نمونه پیچیده سلول‌های عصبی، قابل درک باشد. من گاهی فکر می‌کنم نیروهایی که برای طرح‌ریزی این مدل‌ها، به عنوان گام‌های نخستین در راه «ماشین متفکر» صرف می‌شود، شبیه تلاشی است که پیشینیان ما برای ساختن بال‌های مصنوعی می‌کردند تا راهی برای پرواز کردن آدمی بیابند. بررسی پرواز پرندگان موجب کشف تعدادی از قانون‌های آئرودینامیک شد، قانون‌هایی که برای دستگاه‌های ساخته دست انسان هم درست است، اگرچه اجزاء مشخص آن‌ها با اجزاء بال‌های پرندگان، به کلی متفاوت است. اما، آنچه که مربوط به توضیح کارهای مغز، به مفهوم دقیق منطقی آن است، باید گفت که از امکان‌های امروزی ما به دور است. بنابر اعتقاد فون نیمن، ممکن است با شرح ساده‌ای از فعالیت مشخص مغز، طرح کاملی از همه رابطه‌های عصبی به دست آید. و یا ممکن است بتوان مغز را با اصطلاح‌های منطق ریاضی هم شرح داد، ولی آنچه که مسلم است، این مسأله از جهت‌های بسیاری، از همه دستگاه‌های ریاضی که تا کنون شناخته شده است، پیچیده‌تر است.

ولی، آیا خاصیت‌هایی از سازواره (ارگانیسم) موجود زنده وجود ندارد که بتواند به سادگی مورد تجزیه و تحلیل منطقی قرار گیرد؟ یکی از این خاصیت‌ها، تولید مثل است. و احتمالاً، این، پدیده‌ای از زندگی باشد

که کمتر از دیگران، جنبه «معنوی» دارد. بسیاری از سازواره‌ها «فکر نمی‌کنند»، و بسیاری از آن‌ها به‌طور کلی فاقد دستگاه عصبی هستند، ولی همه سازواره‌ها، تولید مثل می‌کنند. بنابراین، امید می‌رود که تولید مثل، از دیدگاه منطقی، خیلی ساده‌تر از تفکر باشد. برای این که نمونه منطقی تولید مثل را بسازیم، دست کم باید بتوانیم مسأله‌های اصلی مربوط به مطالعه خصیلت‌های این روند را، تنظیم کنیم، و حتی تا جایی که ممکن است، بعضی از روش‌هایی را که به وسیله آن‌ها می‌توان این مسأله‌ها را حل کرد، پیش‌بینی کنیم، این موضوع، به نوبه خود، ممکن است راه‌های بررسی را به زیست-شناس تلقین کند، و حتی احتمالاً بر بعضی از مسأله‌هایی که، به‌طور روز-افزون در برابر زیست‌شناسان قرار داد، پرتوی بیندازد.

فون فیمان، نخستین کسی بود که به بررسی تفصیلی این موضوع پرداخت که چگونه باید روند تولید مثل را در ماشین، طرح ریخت. این مسأله، به زبان خود او، شامل این پرسش است: «آیا می‌توان ماشینی به کمک اجزاء ساده‌ای ساخت، به نحوی که اگر در مخزن آن قطعه‌های همین اجزاء به اندازه کافی وجود داشته باشد، بتواند ماشین‌های دیگری بسازد که دقیقاً عین همان ماشین اصلی باشد؟» و چنین نمونه‌ای را می‌توان طرح ریخت؛ به ماشین برنامه‌ای داده شود که وقتی در محیط «تغذیه» قرار گیرد، اجزایی را که برای ساختن ماشینی مشابه خودش لازم است، جمع و جور کند و به‌مرور زمان، دوتا، سپس چهارتا، بعد هشت‌تا، شانزده‌تا، از این ماشین‌ها بسازد. و این «تولید مثل» تا آن‌جا که اجزاء لازم وجود داشته باشد و فضای کافی برای ماشین‌هایی که «تولید» می‌شود، باقی مانده باشد، ادامه پیدا کند.

در برخورد اول، به نظر می‌رسد که این طرح به کلی غیر واقعی است و نمی‌تواند جدی باشد. اگر نطفه متبلوری را که تنها از چند ملکول ساده تشکیل شده است، در محیطی قرار دهیم که از همین ملکول‌ها و در حرارت و فشار مناسب، اشباع شده باشد، ملکول‌های آزاد به صورت متبلور ته‌نشین می‌شود و درست به همان صورت لازم در می‌آید. از این دیدگاه، ازدیاد بلور، همان «تولید مثل» است. چفت و بست «زیپ» مثال دیگری است؛ در این جا،

اتصال يك جفت دندانۀ اتفاق می افتد، این جفت دندانۀ در محیطی واقع شده است که شامل متصل کننده و مجموعه ای از دندانۀ هاست که به دنبال هم قرار گرفته اند. بقیۀ دندانۀ ها هم به نوبت وارد در اتصال می شوند و دنباله ای از «ماشین های» دو دندانۀ ای را تشکیل می دهند.

البته، این ها، مثال های پیش پا افتاده ای است که برهمنای استفاده از ساده ترین نوع تغییر چگونگی ساختمان دستگاه قرار دارد؛ از حالت بی شکلی به حالت بلوری و یا از حالت باز به حالت بسته. این هم مثالی با صفحه های مشبك: هر کدام از آن ها، يك «ماشین» است و می تواند خودش را - البته به یاری وسیلۀ پیچیدۀ سوراخ كن تكراری (که خودش در يك دستگاه تنظیم، وارد شده است) - «تولید» کند. ضمناً یادآوری می کنیم که بعضی از سازواره های تك یاخته ای ممکن است در محیط «تغذیۀ» ساده ای، از نو تولید شوند، در حالی که سازواره های عالی تر ممکن است به محیط کامل تری که مثلاً شامل مواد بفرنجی همچون ویتامین ها باشد، نیاز داشته باشند. بنابراین، روند تشکیل يك ماشین پیچیده از اجزاء ساده مورد توجه قرار می گیرد که تا چه اندازه می توان تعداد این اجزاء را بیشتر در نظر گرفت. ولی تعداد نوع های مختلف اجزاء (یا حالت های آن ها) باید خیلی زیاد نباشد. و این درست همان چیزی است که فون نیمن در نمونۀ خود برای «تولید مثل»، به آن رسیده است.

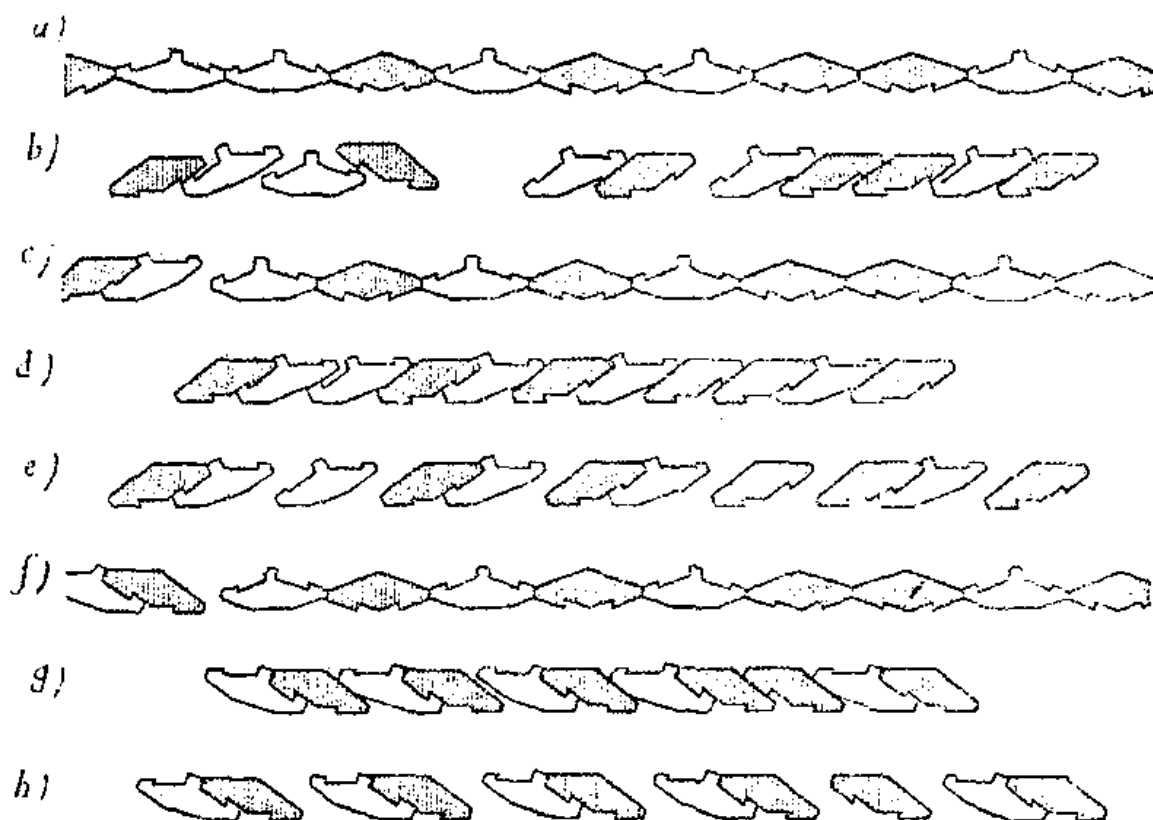
با همه این ها، ممکن است پرسشی پیش آید: این نمونۀ، تا چه اندازه می تواند مختصات و ویژگی های روند زیستی مربوطه را منعکس کند. یکی از نخستین دشواری هایی که باید برای برطرف کردن آن، چاره ای می اندیشیدند، وجود نمونۀ خوبی درباره زیست شناسی بود. فون نیمن، خیلی زود به این نتیجه رسید که برنامه ساختن ماشین که پیشنهاد کرده بود، نمی توانست کامل باشد. برای به دست آوردن برنامه کامل، لازم بود که به جز توضیح خود کار، برنامه هایی وجود داشته باشد که بتواند این توضیح ها را هم توضیح بدهد و بعد برای توضیح های تازه، توضیحی پیدا کند و همینطور تا بی نهایت. این دشواری را می توان از این راه برطرف کرد که دو ماشین ساخته شود که توضیح ها را در دو زمینه مورد بررسی قرار دهد. یکی از ماشین ها، دستگاه

کپی برداری (c) و دیگری، دستگاه اجرایی (o). آنها، با هم و به وسیله دستگاه همزمان کننده (s)، که کار هر کدام از آنها را اداره می کند، کار می کنند. برنامه، باید هر سه دستگاه ( $B_{c+o+s}$ ) را توضیح بدهد. تمامی ماشین را، می توان با عبارت  $c+o+s+B_{c+o+s}$ ، توضیح داد. وقتی که این ماشین توضیح کامل خود را بدهد، c از آن نسخه برداری می کند، o همه عمل هایی را که برای ساختمان c، o و s لازم است، انجام می دهد. نتیجه هایی که اخیراً در ژن شناسی ملکولی به دست آمده، شباهت های حیرت انگیزی را بین عنصرهای فون نیمان و روندهایی که در سلول زنده وجود دارد، نشان داده است. B را مجموعه ژن هایی می گیریم که از اسید اکسید نشده ریبونوکلئیک (desoxyribo-nucleic acid = DNA) تشکیل شده است و در آنها نشانه های موروثی، نقش می بندد. c - خمیرمایه DNA - پلی مری که تضعیف DNA را کاتالیز می کند، و در نتیجه آن رشته های DNA از یکدیگر تقلید می کنند و به این ترتیب، مجموعه ژن ها دوبرابر می شود. o - دستگاهی که از اسیدهای ریبونوکلئیک (RNA)، خمیرمایه ها و ریبوسوم ها تشکیل شده است و اسیدهای آمینه را طبق دستور - های DNA به هم مربوط می کند. به این ترتیب، خمیرمایه ها و آلبومین های دیگری که به دست می آید، در ساختمان یاخته های جدید، شرکت می کنند. نخستین مدل های فون نیمان «مکانیکی» بود. این مدل ها، عملاً ساخته نشد، ولی مدل های دیگری که تا حد کم ترکیبی بودند، نمایش داده شد. در یکی از آنها که به وسیله ژاکوبسون از کالج بروکلین ساخته شده است، «ماشین تولید مثل» عبارت است از قطاری با واگون های اسباب بازی<sup>۱</sup>. واگون ها، اجزاء خود مختار دستگاه هستند و اداره آنها به وسیله دستگاه هایی که در هر واگون قرار داده شده است، انجام می گیرد. وقتی قطار، که از واگون های بانوع های مختلف (و به ردیف معینی) تشکیل شده است، در راه قرار می گیرد، آغاز به حرکت می کند و واگون هایی را که به هم بسته

۱. H. Jacobson. on models of reproduction, Amer Sei. 46, No 3, 255-268.



نیستند، هل می‌دهد. هر جا لازم می‌شد، ردیف واگون‌ها را با استفاده از راه‌های فرعی، تغییر می‌داد و از آن‌ها قطاری «کاملاً شبیه خودش» درست می‌کرد. ژاکوبسون مدل مشابهی ساخت که در آن، امکان قطاری با طول دلخواه و دنباله دلخواهی از واگون‌ها را می‌داد. او مدل



شکل ۳. «خودسازی» و «تولید مثل»، یکی از روندهای زیست‌شناسی است که مورد تجزیه و تحلیل ریاضی قرار گرفته است. «وجودهای» کوچک‌ها شورخورده و هاشور نخورده، دو نوع از اجزاء تشکیل‌دهنده «ماشین» «خودساز» ساده‌ای است که به وسیله پن‌روز ژن‌شناس ساخته شده است. اگر این اجزاء در مجموعه (a) قرار گرفته باشند و آغاز به حرکت به جلو و عقب بکنند، اجزاء بدون این که درگیری پیدا کنند، به هم برخورد می‌کنند (b) ولی، اگر در مجموعه، جنین «سیاه و سفید» یا «ماشین» را قرار دهیم (c) و دوباره آنرا تکان دهیم، جنین، بقیه اجزا را به وضع معینی در می‌آورد و آن‌ها را در ردیفی قرار می‌دهد که دوباره ترکیب‌های «سیاه و سفید» به وجود آید (d). برای روشنی موضوع، این ماشین‌ها را به طور جداگانه نشان داده‌ایم (e). حال، اگر، به عنوان جنین اولیه، وضع «سفید و سیاه» را برگزینیم، در نتیجه تکان دادن، تنها ماشین‌های «سفید و سیاه» به وجود می‌آید (g و h) ماشین‌ها، دقیقاً «بچه‌های خویشاوند» تولید می‌کنند. پن‌روز «وجودهای» خود را از تخته سه‌لایی درست کرد و آنچه که در این شکل می‌بینید از آلومینیوم و درآزمایشگاه بل، ساخته شده است.

نمایشی نسبتاً ساده‌ای ساخت که در آن، می‌شد قطار را از دو واگون «تولید» کرد.

پن دو، ژن شناس انگلیسی، مدل دیگری را پیشنهاد کرده است<sup>۱</sup>، که بنا بر آن باید دقیقاً بر اساس اصول «خودسازی» مواد ژنتیکی، ساخته شود. در ساده‌ترین حالت، در ماشین پن دو، عنصرهایی از دو نوع  $a$  و  $b$  وارد می‌شود، و در نتیجه می‌توانند به یکی از دو روش ممکن، با یکدیگر متحد شوند. اگر در مجموعه، ماشین  $ab$  و عنصرهای بدون ارتباط با هم  $a$  و  $b$  قرار گرفته باشد، و سپس مجموعه، آغاز به حرکت کند (ماشین اولیه  $a$ ، نقش نطفه و جنین را به عهده دارد)، آنوقت ترکیب‌های جدید  $ab$  به وجود می‌آید (شکل ۳). اگر به عنوان جنین، ماشین  $ba$  را قرار داده باشیم، آنوقت، جفت‌های  $ba$  «تولید» خواهند شد.

روشنی مدل‌های مکانیکی و قانع کننده بودنشان، به آن‌ها ارزش می‌دهد، ولی، توضیح ریاضی آن‌ها، بسیار دشوار است. فون نیمان، در کارهای بعدتر خود، به مدل‌های انتزاعی گرایش پیدا کرد، و به این ترتیب، از همه دشواری‌هایی که به تهیه، حرکت و اداره آن‌ها مربوط می‌شود، خلاص شد. او با تنظیم مسئله خودش، به جای مکانیک و الکترونیک، به سرعت به سمت منطق و ریاضیات، کشیده شد و به جای «محیط تغذیه»، با شبکه دو بعدی ریاضی و یا صفحه‌ای که به مربع‌ها تقسیم شده است، سروکار پیدا کرد. در هر مربع یک عنصر قرار می‌گیرد؛ ماشینی با تعداد محدودی حالت (خودکار محدود). ماشین‌های فون نیمان، نه ورودی دارند و نه خروجی، برای آن‌ها، تنها تعدادی حالت مجاز در نظر گرفته شده است. جدول این حالت‌ها و قانون‌ها - انتقال معین از یک حالت به حالت دیگر - برای همه عنصرها قابل اجرا است، ضمناً در هر لحظه زمانی، عنصرهای مختلف، می‌توانند در حالت‌های مختلف قرار گیرند؛ هر ماشینی، عبارت است از یک خودکار جزمی متساوی‌الزمان؛ در هر لحظه جداگانه  $T$  (به استثنای حالت آغازی، به ازای  $T=0$ )، حالت هر عنصر تنها به حالت

1. L. Penrose, Automatic mechanical self-reproduction, New-Biology, No 28, England, p. 92 (1959).

خاص خودش و حالت‌های نزدیک‌ترین عنصرهای مجاور آن در لحظه ۱-T بستگی دارد. حالت خاصی هم وجود دارد که حالت «سکون» نامیده می‌شود. به جز تعداد محدودی از عناصرها، همه آن‌ها در این حالت قرار می‌گیرند. اگر يك عنصر و همه نزدیک‌ترین عنصرهای مجاور آن، در لحظه ۱-T در «سکون» باشند، در این صورت، این عنصر در لحظه T هم به حالت «سکون» خواهد بود. تمامی این دستگاه را (صفحه‌ای که به مربع‌ها تقسیم شده است، ماشین‌های مقدماتی، حالت‌های مجاز و قانون‌های انتقال)، «سازمان موزائیکی» می‌نامیم (شکل ۴). مجموعه محدود عناصرها را «هیات» می‌نامیم، به شرطی که حالت‌های همه عناصرهایی که در آن وارد شده است تعریف شده باشد.

چه رابطه‌ای بین تعریف‌ها، ماشین‌ها، و خود سازی وجود دارد؟ سازمان موزائیکی را به عنوان محیط مجردی در نظر می‌گیریم که در آن فضا و زمان به صورت کمیت درآمده‌اند، و حرکت و دیگر تغییرهای هموار به دنبال هم حالت‌های ناپیوسته‌ای را به وجود می‌آورند: عبور از يك حالت به حالت دیگر که به وسیله قانون‌هایی شرح داده می‌شود. در این محیط، هیات‌هایی وجود دارد که از عناصرها تشکیل شده‌اند (اینها «ماشین‌های ما هستند»). این ماشین‌ها، استعداد خودسازی را هم دارند. عناصرهای جداگانه، اجزاء ساده و مثلا مولکول‌ها هستند. تغییر حالت‌های آن‌ها را، می‌توان پیش خود به صورت انتقال انرژی، تغییر میزان فعالیت شیمیایی و یا تغییر موقعیت هندسی در نظر گرفت. قانون‌های انتقال از يك حالت به حالت دیگر، به معنای قانون‌های فیزیکی و شیمیایی محیط است که تغییرها را معین می‌کند و ناشی از خود عناصرها و ارتباطی که با دیگر عناصرها دارند، می‌باشد. وقتی که می‌گوییم عناصرها در حالت «سکون» هستند، به معنای مواد خامی است که مورد استفاده قرار نگرفته‌اند، قانونی که حالت سکون را معین می‌کند، در واقع به معنای آن است که هیچ کدام از عناصر-هایی که وارد در هیاتی نشده‌اند، نمی‌توانند به طور ناگهانی فعال شوند، و ماشین، تنها از راه عمل‌های محدود، به دوروبر مواد خام «نزدیک می‌شود». به این ترتیب، باید سازمانی موزائیکی ساخت که از عناصرهایی با

تعداد حالت‌های نه چندان زیاد (به زبان دیگر، عنصرهای کاملاً ساده)، تشکیل شده باشد، قانون انتقال‌ها را منظم کرد و سپس چنان هیاتی را طرح ریخت که استعداد «خودسازی» داشته باشد، و این، تا حدی، روند نوشتن برنامه برای ماشین حساب را، به‌خاطر می‌آورد. فون نیمن، خواست بعدی را پیش کشید: هر هیات باید در خودش، شامل ماشین فیورینگ باشد. سپس، او به تفصیل، خودسازی هیاتی را که شامل قریب ۲۰۰۰۰۰ عنصر با ۲۰ حالت درونی است، شرح می‌دهد. بعد از مرگ فون نیمن در سال ۱۹۵۷، کار با سازمان‌های موزائیکی ادامه پیدا کرد، ویژگی‌های ساختمانی آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت، کوشش‌شد تا روند خودسازی آن‌ها به‌صورت کاملاً منطقی نوشته شود و نتیجه‌گیری‌ها، به‌صورت قضیه‌های قابل اثبات درآید. حالا، پرسش جالبی در برابر ما قرار می‌گیرد: با چه سرعتی می‌توان

$x$	$y$	$z$	$0$	$x$	$y$	$z$	$0$
$x$	$z$	$y$	$x$	$x$	$z$	$y$	$x$
$0$	$0$	$0$	$0$	$0$	$0$	$0$	$0$
$x$	$y$	$z$	$x$	$y$	$z$	$0$	$0$
$x$	$z$	$y$	$x$	$z$	$y$	$x$	$0$

شکل ۴. سازمان موزائیکی عبارت است از قسمتی از صفحه، که به‌خانه‌های مربعی شکل تقسیم شده است. میدان مورد بررسی، عبارت است از هیأت‌هایی از ۴ خانه، که حالت‌های آن‌ها را  $x$ ،  $y$ ،  $z$  و  $0$  (تحریک نشده) نامیده‌ایم. هر هیاتی از سه نمونه هیأت‌های هفت‌خانه‌ای (که هاشور خورده است)، تشکیل شده است. بقیه نمونه‌ها باید، زیر مجموعه‌هایی غیر متقاطع باشند. مجموعه چهارم (که محیط آن سیاه شده است)، اگر چه هیأت دیگران را تکرار می‌کند، به علت اینکه با بقیه متقاطع است مستقل نیست.

«جمعیت» تولید مثل هیات را، رشد داد؟ در واقع، این هیات نمی‌تواند به طور نمائی زیاد شود و مثلاً در هر «نسل» دو برابر می‌شود. تعداد «جمعیت» یک سازمان موزائیکی دو بعدی، در هر لحظه زمانی، نمی‌تواند از مربع زمان خودسازی آن، تجاوز کند.

این حکم را به صورت قضیه‌ای منظم می‌کنیم: اگر هیات خودسازی، در زمان  $t$  به اندازه  $f(T)$  هیات مشابه خودش به وجود آورد، عدد ثابت و مثبت  $k$  وجود دارد، به نحوی که داشته باشیم:

$$f(T) \leq kT^2$$

اثبات.  $C$  را هیات خودسازی می‌گیریم که در مربعی به اندازه  $d \times d$  جا گرفته باشد. در این صورت، در هر لحظه زمانی مقدار کلی عنصرهای تحریک شده نمی‌تواند از  $(2T+d)^2$  تجاوز کند، زیرا مجموعه عنصرهای تحریک شده، که شکل مربعی دارد، می‌تواند اندازه‌های خود را تنها در یک عنصر از هر طرف به اندازه واحد زمان، افزایش دهد. اگر تعداد عنصرهای  $C$  برابر  $T$  باشد، داریم:

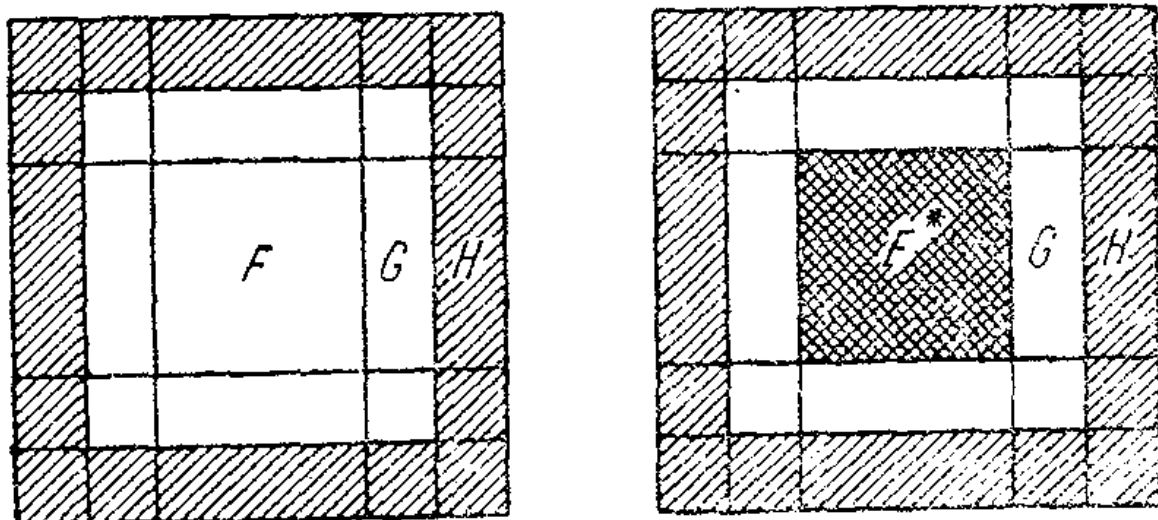
$$f(T) \leq \frac{(2T+d)^2}{r}$$

اگر این نامساوی را کمی ساده‌تر کنیم، به اثبات قضیه خود می‌رسیم. این موقعیت، قانون هالتوس را به خاطر می‌آورد که بنا بر آن، فضای موجود، رشد جمعیت را محدود می‌کند، زیرا سرعت گسترش مرزهای تحریک، نمی‌تواند از یک مقدار ثابت تجاوز کند.

باز هم یک پرسش: آیا هر هیاتی، مستعد خودسازی است؟ به نظر می‌رسد هیات‌هایی وجود دارند که اگر در آغاز کار و به ازای  $T=0$  وجود نداشته باشند، نمی‌توانند به وجود آیند. مفهوم این مطلب این است که چنان هیات قبلی و مقدمی وجود ندارد که بر اساس آن و به کمک انجام قانون‌های انتقال، بتوان هیات مفروض را به دست آورد. چون تیوکی (از دانشگاه پرینستون) پیشنهاد می‌کند که این گونه هیات‌ها را (که مسبوق به سابقه نیستند) «باغ عدن» بنامند. از آن جا که این هیات‌ها را نمی‌توان

از هیات‌های دیگری به دست آورد، دارای استعداد خودسازی نیستند. به این ترتیب، بررسی شرط‌های مربوط به پیدایش ماشین‌ها، امکان تعیین محدودیت‌های اساسی مربوط به استعداد آن‌ها را در خودسازی، به وجود می‌آورد.

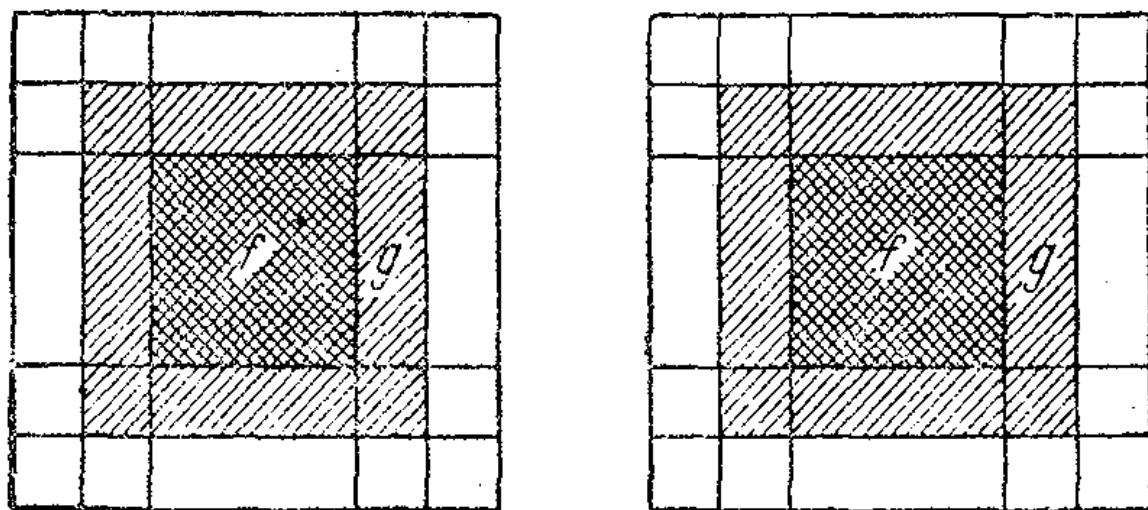
این شرط‌ها، شامل چیزی هستند که می‌توان آن‌را، امکان «پاك شدن» نامید. وقتی که روی تخته سیاه، اثر گچ از بین برود، نمی‌توان درباره آن‌چه که تا این‌جا نوشته شده است، صحبت کرد. از نظر تکنیک محاسبه‌ای، اصطلاح «پاك شدن» مربوط به عمل‌هایی می‌شود که روی عنصرهای حافظه انجام می‌گیرد و در نتیجه آن، این عنصرهای حافظه‌ای به حالت آغازی خود برمی‌گردند و از آگاهی‌هایی که قبلاً در خود نگه داشته بودند «پاك» می‌شوند. در حالت کلی، «پاك شدن» روندی برگشت ناپذیر است، زیرا بعد از اجرای آن نمی‌توان حالت قبلی را، که از آن به حالت مفروض رسیده‌ایم، برقرار کرد. در این‌جا باید دست‌کم دو حالت قبلی وجود داشته باشد که با انتقال‌های معینی، منجر به يك حالت بشوند. در وضع سازمان موزائیکی، مفهوم «پاك شدن» را باید تا حدی دقیق‌تر تعریف کرد، به نحوی که بتواند «پاك شدن» را تضمین کند. در این وضع، مفهوم «شسته شدن»، به معنای



شکل ۵. هیات‌هایی که متناظر با دو حوزه هم اندازه‌اند، در لحظه T نشان داده شده است. هیات‌های حوزه‌های درونی با هم فرق دارند. در شکل، حوزه‌های درونی، اندازه‌های معینی دارند، ولی در حالت کلی می‌توانند دلخواه باشند. هیات‌های بینابینی G و هیات‌های بیرونی H، یکی هستند.

يك انتقال ساده به وضع تازه نیست.

برای این که این تعریف را تنظیم کنیم، دو هیات شکل ۵ را در نظر می گیریم، در این جا، هیات های حوزه های داخلی، که از نه عنصر تشکیل شده اند، در لحظه مفروض با هم اختلاف دارند، آن ها را  $F$  و  $F'$  می نامیم. ضمناً هیات های حوزه های بینابینی  $G$ ، در هر دو حالت یکی هستند، یعنی این حوزه ها، دقیقاً شبیه یکدیگرند. همین وضع، در مورد هیات های حوزه های بیرونی هم درست است: هر دو را  $H$  می نامیم. حال، به وضع هیات ها، در لحظه بعد توجه می کنیم (شکل ۶). اگر هیات های  $f$  و  $g$  که به ترتیب برای حوزه های درونی و بینابینی در نظر گرفته ایم، شبیه هم باشند، می گویند که دو هیات اولیه «یکدیگر را پاك کرده اند»، زیرا با وجودی که با هم اختلاف داشته اند، به يك نتیجه منجر شده اند. توجه کنیم که در این حالت نمی توان هیات محدود حوزه داخلی را مشخص کرد، زیرا چنان تأثیری در عنصرهای آن انجام گرفته است که از مقایسه عنصرهای بیرونی آن، قابل شناختن نیست. وظیفه حوزه بیرونی، تنها حفاظت حوزه بینابینی است. به این ترتیب، هیاتی را پاك کننده می نامیم که هیات دیگری وجود داشته باشد، به نحوی که هر دوی آن ها متقابلاً یکدیگر را پاك کنند. بالاخره از این



شکل ۶. هیات های جدید حوزه هایی که در شکل ۵ دیدیم، در لحظه  $T+1$  حوزه های داخلی به هیات های تازه ای تبدیل شده اند که قابل انطباق بر یکدیگرند. حوزه های بینابینی هم قابل انطباق اند. حالت حوزه های بیرونی معلوم نیست. اگر دو حوزه ای که در ابتدا، مثل شکل ۵، با یکدیگر اختلاف داشته اند، منجر به هیات های یکنانه و متحدی بشوند، می گویند که آن ها «یکدیگر را پاك کرده اند».

تعریف نتیجه می‌شود که اگر هیات پاك کننده در داخل حوزه مستطیلی باشد، این حوزه مستطیلی هم پاك کننده خواهد بود. بنابراین، این ملاحظه‌ها را می‌توان در حوزه‌های مربعی شکل مورد بررسی قرارداد که کار کردن در آن‌ها، راحت‌تر از حوزه‌های به شکل‌های دلخواه است.

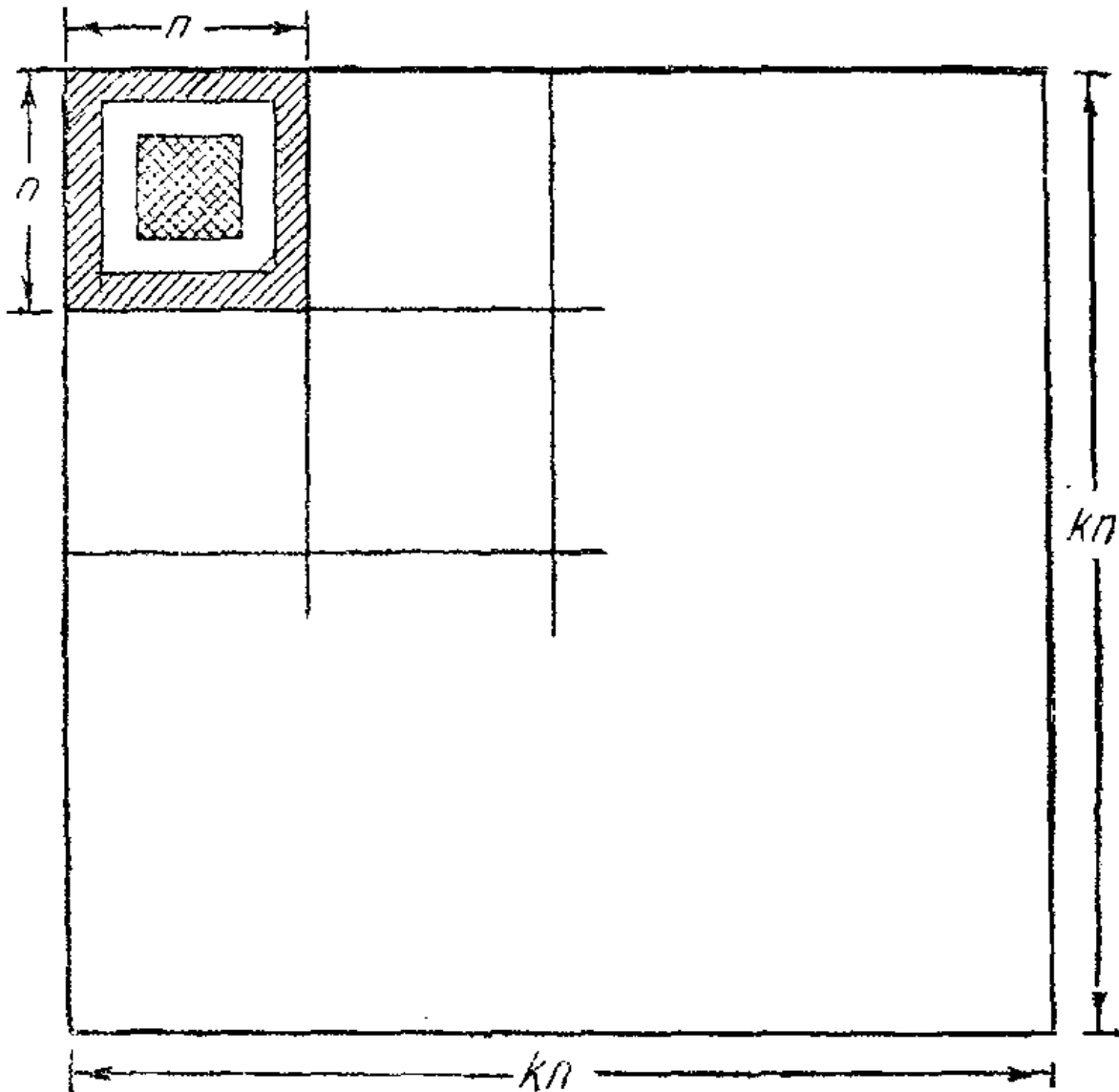
حال می‌توان این قضیه را منظم کرد: اگر در سازمان موزائیکی، هیات‌های پاك کننده وجود داشته باشد، در آن «باغ عدن» هم وجود دارد. (ولی، می‌توان سازمان موزائیکی ساخت که در آن هیات‌های پاك کننده وجود نداشته باشد، چنین سازمانی به کلی بی‌معنی و مبتذل است).

ما به اثبات تفصیلی این قضیه نمی‌پردازیم و تنها بعضی ملاحظه‌های کلی را می‌آوریم.  $n$  را عدد درستی می‌گیریم که درحوزه با اندازه  $n \times n$  دارای هیات پاك کننده باشد. حوزه بزرگ  $kn \times kn$  را در نظر می‌گیریم (شکل ۷). هر يك از  $k^2$  حوزه با اندازه  $n \times n$  چنان اندازه‌های کافی دارد که بتوان هیات پاك کننده‌ای را در آن بررسی کرد.  $k$  را به اندازه کافی بزرگ انتخاب می‌کنیم، به نحوی که درحوزه بزرگ، امکان وجود هیات‌های پاك کننده زیادی باشد. اگر هر عنصر بتواند در یکی از  $A$  حالت قرار بگیرد، در آن صورت در تمام حوزه، امکان  $A^{(kn)^2}$  هیات وجود دارد. ببینیم در کدام حالت، تمامی حوزه ما به لحظه بعدی منتقل می‌شود. به یاد بیاوریم که در لحظه  $T+1$ ، نمی‌توانیم حالت‌های عنصرهای مرزی حوزه خود را، دقیقاً نشان دهیم. بنابراین، در لحظه  $T+1$ ، درواقع، حوزه‌ای را بررسی می‌کنیم که تنها دارای  $A^{(kn-2)^2}$  حالت است.

سپس، اگر در حوزه اولیه  $kn \times kn$ ، حوزه  $n \times n$  وجود داشته باشد، که شامل هیات پاك کننده باشد. در این صورت دو حالت ممکن است که متناظر با دو هیات پاك کننده متقابل‌اند، تنها منجر به يك حالت می‌شوند. اگر دو هیات پاك کننده وجود داشته باشد، چهار حالت ممکن، به يك حالت تبدیل می‌شود. به طور کلی اگر در لحظه  $T$ ، هیات پاك کننده وجود داشته باشد، در لحظه  $T+1$ ،  $2^s$  حالت منجر به يك حالت می‌شود (شکل ۸). حال، تنها لازم است نشان دهیم تلفات تعداد حالت‌ها به علت پاك شدن، باید بیشتر از تلفات مربوط به خلاصه کردن مرز بیرونی حوزه (یعنی تلفاتی



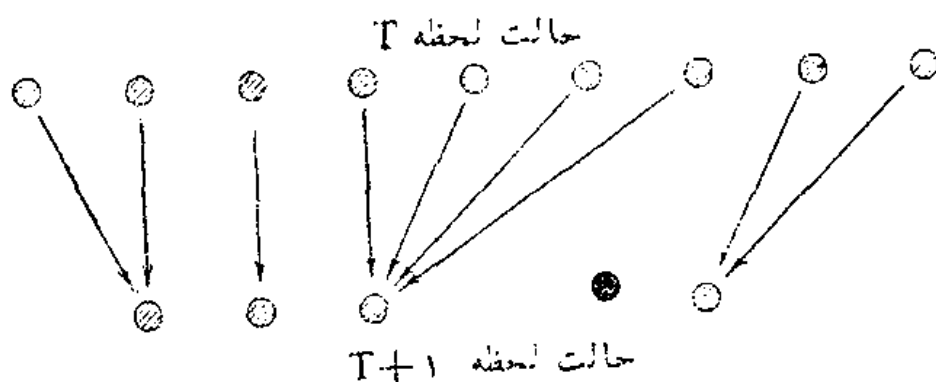
که به وسیلهٔ اختلاف  $A(kn)^2$  و  $A(kn-2)^2$  بیان می‌شود) باشد.  
 بهتر است که به جای تعداد حالت‌ها، لگاریتم آن‌ها را در نظر بگیریم.  
 لگاریتم رابطه‌ای که تلفات را در قشر مرزی مشخص می‌کند، تقریباً به صورت خطی به  $k$  مربوط می‌شود. ولی لگاریتم تعداد حالت‌هایی که به علت پاک‌شدن از بین می‌روند، همچون تعداد هیات‌های پاک‌کننده، و بنابراین این مثل مساحت تمامی حوزه رشد می‌کند، یعنی به تقریب متناسب با مجذور  $k$  است.



شکل ۷. قضیهٔ مربوط به «باغ عدن». به کمک این شکل ثابت می‌شود. هیات نه‌چندان بزرگ پاک‌کننده، دارای اندازهٔ  $n \times n$  است. حوزهٔ بزرگتر به اندازهٔ  $kn \times kn$  است (این‌جا، عدد طبیعی  $k$  برابر  $e$  گرفته شده است، ولی در واقع به اندازهٔ کافی بزرگ است). این حوزه در لحظهٔ  $T$ ، نشان داده شده است. در لحظهٔ  $T+1$  اندازه-های آن  $k$  یا  $(kn-2)$  یا  $(kn-2)$  پایین می‌آید.

به این ترتیب، برای مقادیر بزرگ  $k$ ، بیشترین تعداد حالت‌هایی که از دست می‌رود، مربوط به پاك شدن‌هاست، تا خلاصه کردن حوزه مرزی. در لحظه  $T+1$ ، باید حالتی مثل  $P$  وجود داشته باشد که نتواند مبتنی بر هیچ حالتی از لحظه  $T$  باشد. همین حالت  $P$ ، هیات «باغ عدن» است، که درباره آن در قضیه قبل صحبت کردیم. این حالت را باید از جمله امکان‌ها دانست، ولی نمی‌شود آن را از هیچ حالت قبلی به دست آورد. این حالت، به ماشینی شباهت دارد که می‌توان آن را به عنوان مجموعه‌ای از يك رشته عناصر توضیح داد، ولی نمی‌شود آن را به کمک این عناصر ساخت. از آنجا که این ماشین نمی‌تواند از راه «نوسازی» به دست آید، در حالت «خودسازی» هم نمی‌تواند باشد.

احتمالاً، همین دو قضیه‌ای که در اینجا آوردیم، برای فهمیدن این موضوع کافی باشد که چگونه می‌توان روند بازسازی را به صورت انتزاعی شرح داد و به تجزیه و تحلیل ریاضی دسترسی پیدا کرد. من نمی‌خواهم با این دستاویز حکم کنم که حتماً بین سازمان موزائیکی و بازسازی زیستی، رابطه‌ای وجود دارد. شك نیست که این خود نیاز به اثبات دارد. با وجود این، همان‌طور که قبلاً هم تأکید کردم، کاملاً محتمل است که بررسی مدل‌های مجردی از این قبیل، بتواند دست کم جنبه‌هایی از بعضی معیارهای روندهای زیستی را روشن کند.



شکل ۸. تعداد حالت‌ها برای حوزه‌ای که در شکل ۷ نشان داده شده است، در فاصله زمانی از  $T$  تا  $T+1$  کم می‌شود. و این وضع به علت پاك شدن‌ها و خلاصه کردن حوزه مرزی پیش می‌آید. می‌توان ثابت کرد که به علت پاك شدن‌ها، تلفات بیشتری پیش می‌آید تا به خاطر خلاصه کردن. بنابراین، در لحظه  $T+1$  حالت اضافی  $P$  پیدا می‌شود که به آن هیات «باغ عدن» گویند.

این نمونه را در نظر می‌گیریم. همان‌طور که فرض می‌کنند، زندگی در روی زمین، در نتیجه ترکیب تصادفی مواد غیرآلی، به وجود آمده‌است. این فرضیه، تا چه اندازه به حقیقت نزدیک است؟ از بررسی سازمان‌های موزائیکی می‌توان در این مورد نتیجه گرفت که دستگاه‌ها باید تا چه حد پیچیده باشد که ضمن این که در حالت‌هایی ویژگی خودسازی را از خود بروز می‌دهد، استعداد این را هم داشته باشد که در مسیر تکامل تدریجی قرار گیرد و شکل خود را کامل کند. ژاکوبسون، ضمن مطالعه رفتار ماشین مربوط به قطارهای باری، ضمن تشریح مفهوم پیچیدگی در ضربه‌های آگاهی‌ها، قدم‌هایی در این جهت برداشته است.

حتی، اگر سر آخر معلوم شود که مدل‌های خودساز ماشینی در زیست‌شناسی، کاربردی ندارند، باز هم به خودی خود دارای اهمیت فوق‌العاده‌ای هستند. برای چند لحظه به مدل خودساز فون نیمن توجه کنیم. چه خواهد شد، اگر ماشین مشابهی، نه برای یک محیط انتزاعی، بلکه برای تحقق در جهان فیزیکی واقعی، ساخته شود؟ چنین ماشینی، همچون گیاه زنده معمولی، عنصرهای خود را از مواد دور و بر تأمین می‌کند و از آن‌ها ترکیب‌های لازمی را، که قادر به خودسازی هستند، به وجود می‌آورد. این ماشین می‌تواند مواد لازم را از محیط دور و بر خود جدا کند، به تصفیه آن‌ها پردازد و ذخیره کند. مثلاً، اگر چنین دستگاهی در اقیانوس گذاشته شود، خواهد توانست به عنوان ماده اصلی خود، از منیزیومی که در آب وجود دارد استفاده کند و به این ترتیب، امکان جمع‌آوری «محصول» منیزیوم را برای بشر به وجود آورد. تا امروز کسی نتوانسته است راهی را که برای ساختن چنین ماشینی لازم است پیدا کند، ولی من فکر می‌کنم سرانجام روزی ساخته خواهد شد.

# ریاضیات و روان‌شناسی

ن. ای. پوژارسکایا

معمولاً بلوغ و رسیدگی هر دانشی را با این معیار اندازه می‌گیرند که تا چه اندازه از ریاضیات استفاده می‌کند. اگر این حکم را به عنوان يك اصل بپذیریم، می‌توان گفت که روان‌شناسی امروز به مرز معینی از بلوغ دست یافته است، زیرا کاربرد روش‌های ریاضی در روان‌شناسی، در سال‌های اخیر چنان شتابی پیدا کرده است که لزوم به وجود آمدن رشته‌ای خاص - به نام روان‌شناسی ریاضی - در برنامه روز قرار گرفته است. کار این رشته عبارت است از بررسی امکان کاربرد روش‌های ریاضی در روان‌شناسی. آغاز این بررسی و پیشرفت آن، که می‌تواند دو دانش به کلی متفاوت را به هم مربوط کند، دارای ویژگی‌های اساسی بسیاری است. از این جا آغاز می‌کنیم که ریاضیات هرگز دانشی تجربی نبوده است، در حالی که روان‌شناسی تا مدت‌ها دانشی تجربی به حساب می‌آمد. اگرچه روان‌شناسی هم، در واقع امر، چنین نیست، ولی دلیلی به کلی غیر از دلیل تجربی نبودن ریاضیات دارد. کوشش می‌کنیم این علت‌ها را روشن کنیم. روان‌شناسی، به عنوان يك رشته علمی مستقل، چندان قدیمی نیست، اگر چه موضوع اصلی مورد بررسی آن - یعنی انسان - از همان زمانی که اندیشیدن را یاد گرفت، به صورت اندیشه‌های فلسفی مطرح بوده است. با همه این‌ها می‌بایستی نتیجه کار و تلاش دانشمندان زیادی در طول سده‌های بسیار، روی هم جمع شود، تا امکان نخستین بررسی‌های روان‌شناسی به وجود آید.

در زمان ولف (سده هیجدهم) روان‌شناسی را تجربی نامیدند، درحالی که چنین نبود، زیرا همان‌طور که ب. و. به‌لیایو - باشکیروو در کتاب خود «روش آماری در روان‌شناسی و روان‌شناسی کودک» یادآوری می‌کند، روش اساسی بررسی آن، همان روش خویشتن‌نگری است که، البته، به‌یاری آن نمی‌توان به‌هیچ‌گونه اندازه‌گیری دقیقی دست زد. ولی، اگر کانت، در سده هیجدهم تأکید می‌کرد که روان‌شناسی به دلیل این که اندازه‌گیری در آن راهی ندارد، هرگز نمی‌تواند به صورت یک دانش دقیق درآید، در ابتدای سده نوزدهم، این ناممکن، ممکن شد، یوهان هربرت، فیلسوف، روان‌شناس و مربی آلمانی، در سال ۱۸۲۲، برای نخستین بار، گزارش خود را زیر عنوان «درباره امکان و لزوم به‌کاربردن ریاضیات در روان‌شناسی» در برلین منتشر کرد.

گام اساسی در پیشرفت بعدی روان‌شناسی را، باید در کارهای ویر و فخنر جستجو کرد که برای نخستین بار، ضمن مطالعه احساس‌های آدمی، روش تجربی را در بررسی‌های خودشان، مورد استفاده قرار دادند.

سده بیستم، چند ویژگی نا منتظر، در مورد «رابطه متقابل» روان‌شناسی و ریاضیات، به همراه داشت. اگر در ابتدای این سده، بعضی از جنبه‌های این موضوع، به طور گسترده‌ای از طرف بسیاری از دانشمندان، و منجمله آ. پوانکاره، ای. پ. پاولوف، آ. آینشتین و دیگران مطرح می‌شد، در سال‌های ۳۰ - ۴۰، دیگر آن توجه قبلی نسبت به آن ابراز نمی‌شد. علت این امر را، تا حدی، می‌توان در این‌جا پیدا کرد که در این دوره، روش کمیتی نقش بسیار ناچیزی در بررسی‌های روان‌شناسی داشت و برای پدیده‌های روان‌شناسی ترجیح داده می‌شد که به شرح کیفی آن‌ها پردازند. با وجود این، بعد از چند سالی، علاقه به استفاده از ریاضیات در روان‌شناسی، دوباره و با نیروئی تازه و بی‌سابقه، شعله‌ور شد. علت این امر را باید در پیدایش و تکامل طوفانی یک رشته علوم فنی، و در درجه اول، سیرنیتیک دانست. سیرنیتیک توانست به پیشرفت جدی و تند چنان روش‌هایی از ریاضی کمک کند، که استفاده از آن‌ها، در ارتباط با مسأله‌های تازه‌ای که در روان‌شناسی پیدا شده بود، بسیار ثمربخش‌تر از قبل بود. ولی وجه مشخصه

عمده روابط متقابل روان‌شناسی و ریاضیات را در این دوره، باید در چرخش ریاضیات به طرف روان‌شناسی دانست. این چرخش نامنتظر از این‌جا روشن می‌شود که درمیانه‌های سده بیستم، همراه با پیشرفت روش محاسبه الکترونی (پیدایش کامپیوترها) و موفقیت‌هایی که در رشته‌های روان‌شناسی، عصب‌شناسی و تشریح (فیزیولوژی) به دست آمده بود، زمینه عینی طرح مسأله «تکمیل» جریان‌های مربوط به تفکر و اندیشه، به وجود آمد.

همان‌طور که نویسندگانی که نوشته‌های خود را به این مسأله اختصاص داده‌اند، یادآوری می‌کنند، مبتکرانی که در پی ساختن کامپیوترهایی بودند که قادر به نوعی فعالیت فکری باشند، تمام توجه خود را روی دو اصل بنیانی روان‌شناسی و فیزیولوژی فعالیت ممتاز عصبی متمرکز کرده بودند: تداعی معانی و بازتاب. مثلاً، ن. وینر، پایه‌گذار سیرنیتیک، برای ساختن طرحی از فعالیت عقلانی، به درك لوکا از ساز و کار تداعی معانی و آموزش ای. پ. پاولوف درباره بازتاب‌های شرطی، تکیه می‌کرد. در این‌جا هم، به طور قانع‌کننده‌ای، به وجود یکی از قانون‌مندی‌های دانش معاصر پی می‌بریم که: بسیاری از دشواری‌ها و امکان‌هایی که برای حل آن‌ها پیدا می‌شود، اغلب در ارتباط با دانش‌های مختلف، به وجود می‌آید.

در مورد بستگی متقابل روان‌شناسی و ریاضیات، نمونه دیگری هم می‌توان آورد که مشخص‌کننده رابطه دوجانبه این دانش‌هاست. گد. و. - سوخودولسکی، در کتاب «مبانی آمار ریاضی برای روان‌شناسان» یادآوری می‌کند که پدیده‌های روانی، اجتماعی و تربیتی، به خاطر حجم بزرگ ساختمانی و به خاطر پیچیدگی اساسی خود، دیر زمانی است که به پیشرفت خود آمار ریاضی خدمت می‌کنند: در این مورد، کافی است کارهای ف. هولتون (که اندیشه‌های نخستین مربوط به بستگی‌های منطقی و متقابل را تکامل داد)، چ. منه‌من (که به وجود آورنده تجزیه و تحلیل تك عاملی است) و. ل. ترستون (که تجزیه و تحلیل چند عاملی را مطرح کرد) به یاد آوریم. به این ترتیب، حدس نوربرت وینر، که ضمن یادآوری بستگی بین فیزیک و زیست‌شناسی، می‌گوید: «من گمان می‌کنم که نه تنها زیست‌شناسی به فیزیک نزدیک می‌شود، بلکه، فیزیک هم بعضی از اندیشه‌های زیست‌شناسی را هم‌گون می‌کند»، تا حد زیادی درباره بستگی متقابل روان‌شناسی

و ریاضیات هم، درست است.

ولی اگر تاکنون درباره این بستگی از این موضوع صحبت می کردیم که روان شناسی چه چیزی به ریاضی دان می دهد، حالا بررسی می کنیم که ریاضی چه چیزی به روان شناسی می دهد؟

دو دیدگاه به کلی متفاوت، درباره کاربرد ریاضیات در روان شناسی وجود دارد. در يك طرف کسانی قرار دارند که ریاضیات را به عنوان راه گشا و وسیله ای عمومی می شناسند، و به ریاضی در آوردن روان شناسی را، تنها راه رفع همه دشواری هایی می دانند که در سر راه بررسی های گوناگون این دانش وجود دارد. در طرف دیگر، برعکس، تأکید می کنند که استفاده از ریاضیات، به عنوان روش مشخص کننده بررسی های روان شناسی، اساساً ممکن نیست، زیرا مدل سازی پدیده های روان شناسی و فرمولی کردن آنها، دانش روان شناسی را به بازی بیهوده ای با علامت های ریاضی، تبدیل می کند.

نارسائی هر دوی این دیدگاه ها روشن است. از ریاضیات نمی توان بیش از آن چه دارد، انتظار داشت. ولی معقول این است که از آن چه در واقع دارد، به طور کامل استفاده شود. به يك دشواری توجه کنیم که بدون هیچ مبالغه ای می تواند مانعی برای به کار گرفتن ریاضیات در همه شاخه های روان شناسی - بدون استثنا - به شمار آید. این، دشواری «زبان» است. موضوع از این قرار است که کاربرد روش های ریاضی برای پدیده های روان شناسی، همچنین استفاده از آگاهی های روان شناسی ضمن طرح ریزی دستگاه های پیچیده، به زبان اصطلاحی واحدی نیاز دارد. نبودن چنین زبانی، اغلب به نتیجه های کاملاً اسفناکی منجر می شود. دو بیگانه ای را در نظر بگیرید که زبان فارسی را نمی دانند، ولی نیاز دارند که با هم به زبان فارسی صحبت کنند. چه وضع نامعقولی پیش می آید؟ به این ترتیب، گاهی به نظر می آید که دست کم، هم نشینی روان شناسان و ریاضی دانان، چیزی نامعقول است. به فرض که روان شناس بتواند مفهوم موضوع مورد نظر را به درستی برای ریاضی دان شرح دهد، اغلب ریاضی دان نخواهد توانست روان شناس را، از مفهوم نتیجه گیری های ریاضی، آگاه کند.

همان طور که ب. ف. لوموف، د. ای. نیکلایف و و. ف. دوباخین

در مقاله خود تحت عنوان «برخی موضوع‌های مربوط به کاربرد ریاضیات در روان‌شناسی» یادآوری می‌کنند، این وضعیت معمائی از این‌جانشی می‌شود که خصلت اصلی ریاضیات این است که با مفهوم‌های دقیق «ایده‌آلی» سرو کار دارد (نقطه، خط راست، صفحه، عدد، کمیت و غیره)، در حالی که مفهوم‌های سنتی روان‌شناسی تجربی، برای چنین «دقت ایده‌آلی» نه به اندازه کافی روشن‌اند و نه با دقت تعریف شده‌اند. بنابراین، پیشرفت جدی و اساسی در کاربرد روش‌های ریاضی، زمانی به دست می‌آید که ریاضی‌دانان و روان‌شناسان بتوانند راهی برای جستجو و تعریف دقیق «ایده‌آلی کردن» مفهوم‌های روان‌شناسی پیدا کنند. البته نویسندگان این مقاله، تأکید می‌کنند که دستیابی به این مفهوم‌ها و دقیق کردن آن‌ها به هیچوجه به معنای آن نیست که همه دشواری‌ها حل، و یا روان‌شناسی به شاخه‌ای از ریاضیات تبدیل شود. همان‌طور که کاربرد گسترده ریاضیات در فیزیک آن را به دانشی که تنها با «نشانه‌های خالص صوری» سروکار داشته باشد، تبدیل نکرده است، استفاده از ریاضیات در روان‌شناسی هم، ما را از بررسی‌های تجربی، و از دنبال کردن روش‌های خالص جستجوی آگاهی‌های علمی و کاربرد علمی آن‌ها در آموزش و پرورش، پزشکی، صنعت و غیره، بی‌نیاز نمی‌کند. از این گذشته، به کاربرد ریاضیات، پیشرفت بررسی‌های روان‌شناسی (و قبل از همه روان‌شناسی تجربی) رami طلبید، و این بررسی‌ها هم، به نوبه خود، نیازمند به وجود آوردن دستگاه خاصی از ریاضیات کار بسته است، که بتواند نیازهای روان‌شناسی را، در مرحله‌ای که کم‌تر به خدمت فیزیک، شیمی، اخترشناسی و دیگر دانش‌های فنی و طبیعی بسته است، برطرف کند. به این ترتیب، هم روان‌شناسان مسأله‌هایی را در برابر ریاضی‌دانان قرار می‌دهند و هم، ریاضی‌دانان جهت‌ها و روش‌های تازه‌ای را، که درخور حل دشواری‌های روان‌شناسی است، گسترش می‌دهند.

ولی، با وجود همه این دشواری‌ها، روش‌های ریاضی توانسته است فضای گسترده‌ای از بررسی‌های روان‌شناسی را دربر بگیرد. برای این که در این مورد قانع شویم، کافی است از سه شکل اصلی کاربرد ریاضیات در روان‌شناسی، نام ببریم. نخستین آن‌ها، عبارت است از ساخت آماری نتیجه-



هایی که از راه مشاهده به دست می آید، دومین آن‌ها عبارت است از جستجوی معادله‌هایی که بتوانند رابطه بین متغیرهایی را که در کار آزمایش‌ها دخالت دارند، شرح دهند، و سومین، ساختن و امتحان کردن مدل‌های ریاضی.

در ادبیات خاصی که اختصاص به روان‌شناسی ریاضی دارد، هر کدام از این سه مسیر بازتاب گسترده‌ای داشته است. مثلاً وقتی که از شکل نخست، یعنی ساخت آماری نتیجه‌های حاصل از مشاهده، گفته می‌شود، باید يك بار دیگر از کتاب گ. و. سوخو دولسکی به نام «مبانی آمار ریاضی برای روان‌شناسان» یاد کرد. در این کتاب، اندیشه‌ها، مفهومی‌ها و روش‌های اساسی آمار ریاضی، با تفسیرهای خاصی، برای ویژه‌کاران روان‌شناسی و سایر شاخه‌های نزدیک به آن، مورد بررسی قرار گرفته است. سوخو - دولسکی، با طرح و تنظیم روش‌هایی که برای درك پدیده‌های روان‌شناسی، جامعه‌شناسی و آموزش طبیعی مفید باشد، کتاب خودش را به مسأله‌های خاص نظریه روان‌شناسی نزدیک می‌کند و در همه جا نتیجه‌گیری‌هایش را با کمک مثال‌های مشخصی، روشن می‌کند. ج. گلاس و ج. ستنلی، دانشمندان مشهور امریکائی هم، همین موضوع‌ها را، منتهی به نحوی کم و بیش متفاوت، در کتاب خود به نام «روش‌های آماری در آموزش و روان‌شناسی»، مورد بررسی قرار داده‌اند. نویسندگان این کتاب، به خوانندگان خود و به کسانی که مطالعه آمار را شروع کرده‌اند، توصیه می‌کنند که بهتر است قبل از هر چیز، خود را از تصویرهایی که به طور گسترده درباره آمار و آمارشناسان متداول شده است، کنار بکشند.

این تصویرها چیست؟ تصور عامی که در مورد آمار وجود دارد، بنا به گفته ج. گلاس و ج. ستنلی، مخلوطی است از تمسخر توأم با سوءظن و تحقیر. قضاوت درباره آمارشناسان هم بر همین اساس گذاشته شده است. آمارشناسان را گروهی دروغ‌گو می‌دانند و به «بازی با آمار» متهم می‌کنند. آن‌ها را کسانی می‌دانند که بدون توجه به تفکر و مسائل عینی، مردم را به کمک آمار و با زبردستی فریب می‌دهند. آمارشناس را، از روی تمسخر، به کسی تشبیه می‌کنند که سرش را در آب سرد و پاهایش را در بخاری فرو برده باشد و بگوید: «من به طور متوسط احساس بسیار خوبی دارم».

بعد از این مقایسه بی نظیر، دیگر تعجبی ندارد که نویسنده مقاله «دانش و دام آمار» در یکی از شماره‌های «تایم» در سال ۱۹۶۷ (تأکید می‌کنیم در سال ۱۹۶۷ و نه ۱۸۶۷)، به بعضی نتیجه‌گیری‌های عجیب و غریب رسیده باشد: احتمالاً زمانی فرا می‌رسد که جامعه کمتر به عدد و رقم متوسل شود و در نتیجه کمتر به آمارشناس متکی باشد.

بر اساس چنین اظهار نظرهائی است که ج. گلاس و ج. متنلی می‌گویند که حرف‌های نامربوط را، به همان اندازه که در بیان‌های شفاهی وجود دارد، در شکل‌های عددی هم می‌توان پیدا کرد. ولی، همان‌طور که اهمیت منطق در این است که به عنوان ضامنی معتبر، ما را از قبول بی‌چون و چرای حرف‌های نامربوطی که گفته می‌شود، باز می‌دارد، اهمیت آمار هم در این است که جلو نامربوطی‌های مربوط به بازی با رقم‌ها را می‌گیرد. نخستین گام برای زدودن تصورات عادی در مورد آمار، این است که به مطالعه ساختمان خود دانش «روش‌های آماری» و گذشته تاریخی آن بپردازیم. تکامل اولیه روش‌های آماری، تحت تأثیر سرچشمه‌های اصلی آن‌ها بود: آمار «مادری» دارد که باید آن را صورت حساب‌های منظم تقسیم‌بندی - های دولتی دانست<sup>۱</sup> «پدر» آمار، بازی شرافتمندانه با ورق است، که با تکیه بر ریاضیات، مهارت بیشتری به دست می‌دهد و امکان برد را زیادتر می‌کند. دانش آمار، از مادر خود، محاسبه، اندازه‌گیری توصیف، جدول بندی و خلاصه همه آنچه که منجر به آمار توصیفی معاصر شده است، به ارث برده است. از طریق پدر هم، در تعبیر آخر، نظریه استنتاج آماری به وجود آمده است که مستقیماً بر نظریه احتمال تکیه دارد. آنچه هم که اخیراً پایه‌گذاری شده و برنامه‌ریزی آزمایش‌ها نامیده می‌شود، بر اساس ترکیبی از نظریه احتمال با بعضی مبانی مقدماتی، ولی «حیرت‌آور»، منطق نهاده شده است.

حال ببینیم که از این شاخه‌های روش‌های آماری، به چه ترتیب در

---

۱. واژه‌های فرانسوی «état» (دولت) و «Statistique» (آمار) هر دو از واژه لاتینی (Status) آمده‌اند.

روان‌شناسی استفاده می‌شود. آمار توصیفی، به عنوان وسیله‌ای برای شرح و تعمیم توده مدارك موجود و یا كسب آگاهی از آن‌ها، در جهت مورد نظر، به كار می‌رود. نظریه استنتاج آماری اجازه می‌دهد كه، از راه بازبینی انتخاب‌ها، ویژگی‌های انبوه عظیمی از این مدارك را بیرون بکشیم. سومین شاخه - یعنی برنامه‌ریزی و تحلیل آزمایش‌ها - كه برای كشف و تحقیق بستگی‌های علت و معلولی بین موضوع‌ها و پدیده‌ها به كار می‌رود، برای بررسی‌های روان‌شناسی اهمیت خاصی دارد، زیرا دانش روان‌شناسی، بیش از هر دانش دیگری، با این بستگی‌های علت و معلولی سروكار دارد.

باید یادآوری كرد كه پیدایش برنامه‌ریزی آزمایش، به عنوان مسیر مستقلی در آمار معاصر، مربوط به امروز و حتی دیروز نیست. بیش از چهل سال از زمانی كه فیشر پایه‌های درك برنامه‌ریزی آزمایش را گذاشت، و بیش از بیست سال از زمانی كه بوكس و ویلسون نخستین اثر خود را درباره آن منتشر كردند، می‌گذرد.

به كار گرفتن مدل‌های ریاضی برای بررسی جنبه‌های بسیار گوناگون روندهای روان‌شناسی (مثل درك، حافظه، تفكر، آموزش، بازی و بالاخره خلاقیت) و چاپ مقاله‌ها و كتاب‌هایی كه به این موضوع اختصاص دارد، در زمان ما ابعاد وسیعی به خود گرفته است.

مثلاً، كتاب د. آتكینسون، ه. باارد و ا. كروتس، دانشمندان مشهور امریکائی، به نام «ورودی بر نظریه ریاضی آموزش»، شهرت زیادی در این باره پیدا کرده است. در این كتاب يك رشته مدل‌های ریاضی، مسائل مربوط به يکسان کردن مفهوم‌ها، تدریس دوفری، شیوه رفتار در شرایط انتخاب و بسیاری موضوع‌های دیگر، پیشنهاد و به تفصیل مورد بحث قرار گرفته است.

به كار بردن هر سه شكل اصلی روش‌های ریاضی در روان‌شناسی، این امکان را به وجود می‌آورد كه از لحاظ ریاضی، به اصلی‌ترین مسأله بررسی - های روان‌شناسی معاصر، نزدیک شویم. این مسأله اصلی، عبارت است از ساختن يك نظریه علمی و شرح كمیتی آن، زیرا يك نظریه كمیتی بد را خیلی ساده‌تر از

يك نظريه كیفی بد می توان شناخت و رد کرد.

همان طور که د. آنکین سون، ه. بااورد و ا. کروتس در اثر خود یادآوری می کنند، تجزیه و تحلیل ریاضی برای حل مسأله انتخاب هم، وقتی که با دو نظریه متناقض سروکار داریم، به همان اندازه مؤثر و مفید است. چنین تجزیه و تحلیلی برای ما روشن می کند که چه پیشگویی هایی از يك نظریه با پیش گویی های نظریه دیگر متناقض است. سپس با انجام آزمایش معلوم می شود که کدام يك از پیش گویی ها را می توان تأیید کرد. گاهی متقاعد می شویم که پیش بینی هایی که بر اصل های کاملاً متفاوتی قرار دارند، به طور غیر منتظره ای به هم نزدیک و یا حتی یکسان هستند. این احساس متناقض از حقیقت را، می توان با روش قیاسی برطرف کرد. به این ترتیب، به کار بردن ریاضیات می تواند ما را از انجام آزمایش هایی که نمی توانند آگاهی های لازم را به ما بدهند، بی نیاز می کند.

مؤلفین نامبرده در ادامه این فکر یادآوری می کنند که روش ریاضی به نظریه پردازان هم کمک می کند. حتی وقتی که پیش بینی ها تأیید نمی شود، یعنی نظریه كیفی بی پایه از آب درمی آید، اغلب نظریه پرداز نمی تواند خود را از وسوسه نجات نظریه اش درامان نگه دارد و به این «استدلال» متوسل می شود که نظریه در اساس خود درست است، ولی تنها به بعضی اصلاح های اضافی نیاز دارد تا بتواند با نتیجه هایی که از راه مشاهده به دست می آید، سازگار شود. ولی اگر این نظریه به شکل ریاضی مورد آزمایش قرار گیرد، وضع به صورت دیگری درمی آید، با استفاده از روش ریاضی است که نظریه پرداز می تواند کشف کند که چگونه يك حيله كوچك می تواند به برطرف کردن دشواری موجود کمک کند و یا، بدون این که تردیدی در نظریه خود داشته باشد، راه نفوذ سرچشمه دشواری را با تغییری که در يك یا چند اصل بنیادی می دهد، سد کند.

مؤلفین، با وجود تجزیه و تحلیل مفصل امتیازهایی که کاربرد روش های ریاضی برای ساختن نظریه های علمی دارد، ناچار به قبول این حقیقت می شوند که: «ریاضیات هنوز نمی تواند، نظریه خوب و زیبایی برای روان شناسی

و در واقع هم، در روان‌شناسی، چه نظریه‌های خوب شفاهی و چه نظریه‌های بد ریاضی، به فراوانی دیده می‌شود، زیرا معیار ارزیابی این نظریه‌ها تغییر نکرده و به همان صورت نخستین خود باقی مانده است: یعنی اگر يك نظریه اساساً بر مبنای نادرستی بنا شده باشد، هیچ تلاشی برای نجات آن به كمك فرمول‌های ریاضی به ثمر نمی‌رسد. بهترین دلیل این حکم را می‌توان در تاریخ روان‌شناسی پیدا کرد. نمونه‌های بسیاری از نظریه‌های روان‌شناسی وجود دارد که به زبان ریاضی روشنی درآمده‌اند، ولی نتوانسته‌اند از بوته آزمایش سربلند بیرون آیند و خواست‌هایی را که از هر نظریه علمی انتظار می‌رود، یعنی امکان روشن کردن یا پیش‌بینی پدیده‌های معین و مربوط کردن آن‌ها را به يك دستگاه نظری، برآورند.

حالا، تنها با در نظر گرفتن کلی‌ترین خط‌ها و جنبه‌های مختلف کاربرد روش‌های ریاضی در روان‌شناسی، کوشش می‌کنیم تا حد امکان کاربرد این روش‌ها را در بررسی‌های روان‌شناسی، معین کنیم.

با توجه به این هدف، به خصوص نظریه بازی در ریاضیات، می‌تواند از نظر کاربرد در روان‌شناسی، اهمیت بی‌تردیدی داشته باشد. به اعتقاد گک. ا. ژوداولو (در مقاله «کاربرد نظریه بازی در روان‌شناسی» در کتاب «روان‌شناسی و ریاضیات»)، این نظریه، یکی از ابزارهای اصلی «روان‌شناسی ریاضی» معاصر است. بنابراین لازم است که نقش و مقام این نظریه در دانش روان‌شناسی روشن و راه عمل آن مشخص شود. نویسنده مقاله مذکور ضمن مطالعه نوع کار در زمینه روان‌شناسی ریاضی، یادآوری می‌کند که می‌توان يك اصل کلی را در مورد شماهای صوری در نظر گرفت، که ما آن را **اصل انطباق** می‌نامیم. کوشش می‌کنیم ساختمان این شماهای صوری را در دستگاه دانش روان‌شناسی معین کنیم و ویژگی‌های عمل کرد شماهای نظریه بازی را در فعالیت‌های انسانی نشان دهیم.

فرض کنیم که سه موضوع یا سه رشته علمی در برابر ما باشد و ما بخواهیم اصول اساسی بستگی‌های متقابل آن‌ها را مورد بررسی قرار دهیم. یکی از این رشته‌ها - روان‌شناسی، یا دقیق‌تر، موضوع روان‌شناسی، یعنی

راه و روش خاص آن در مطالعه جهان است. رشته دوم - نظریه بازی است، به عنوان ساختمان نظریه خاصی که مفهوم‌ها، دستگاه ریاضی و قانون‌های کاربرد خاص خودش را دارد. و بالاخره رشته سوم - رشته ترکیبی کاربرد نظریه بازی در روان‌شناسی است. بنابر سنت، روان‌شناسی را می‌توان به - عنوان مطالعه انعکاس فعال واقعیت عینی به وسیله انسان، تعریف کرد. موضوع مورد بررسی نظریه بازی را به این ترتیب می‌توان روشن کرد. چند بازی کن در نظر می‌گیریم که هر کدام از آن‌ها، امکان انتخاب یکی از چند عمل ممکن را داشته باشند؛ بعد از انتخاب‌های متوالی و یک رشته عمل - های کامل، بازی کن‌ها نتیجه را جمع‌بندی می‌کنند؛ برد خود را می‌گیرند یا باخت خود را می‌پردازند. وقتی که بازیکن‌ها در جستجوی بهترین روش باشند، مسأله پیدا کردن اصول جستجوی این روش‌ها، در برابر نظریه بازی قرار می‌گیرد.

به کاربردن این نظریه در روان‌شناسی به معنای این است که طرح مفروض را با واقعیت عینی روان‌شناسی تطبیق دهیم. با این توضیح سطحی به نظر می‌رسد که با بازی عجیب و غریبی سروکار داریم، از یک طرف فعالیت انسانی هیچ رابطه‌ای با «بازی» ندارد و از طرف دیگر، نظریه بازی با موضوع روان‌شناسی بیگانه است. هواداران این موضع، که تنها به کاستی - های هر طرح توجه می‌کنند، شکاکانه متذکر می‌شوند: «البته، هستی انسان را به طریقه‌های گوناگونی می‌توان نشان داد؛ انسان را می‌توان به صورت یک جسم فیزیکی در نظر گرفت، یا به صورت یک راکتور شیمیایی که واکنش - های مربوط به ترکیب‌های آلبومینی در آن جریان دارد و یا به صدها صورت دیگر. ولی این چه ربطی به روح انسان و به روند پیچیده عکس العمل فعال او دارد». آن‌ها ضمن این بحث فراموش می‌کنند که اغلب، شرایط اجتماعی و تولیدی مختلف، انسان را و می‌دارد تا طبق طرح قبول شده عمل کند، و در این صورت است که نظریه بازی اهمیت استثنائی پیدا می‌کند، با وجودی که خود طرح، همچنان با طبیعت آدمی بیگانه باقی می‌ماند. انسان می‌تواند به عنوان پار سنگ و وزنه تعادلی برای سطل آب به کار گرفته شود و یا واسطه‌ای برای روند واکنش‌های شیمیایی ماده باشد، ولی در هر حال، انسان

باقی می‌ماند، تنها روش‌های تحمیلی رفتار است که او را به جسم فیزیکی یا ماشین تبدیل می‌کند. با وجودی که بازی، به عنوان شکل خاصی از نقش فعالیت‌های انسانی، از اعماق تاریخ کهن سرچشمه می‌گیرد (کاوش‌های باستان‌شناسی را که معرف موضوع بازی‌هاست و یا تاریخ شطرنج و بازی با ورق را که قدمتی چند هزار ساله دارند، به یاد بیاوریم)، نخستین طرح‌های نظریه بازی را باید مربوط به سه سده پیش دانست و در کارهای پرنولی جستجو کرد. در مرحله کنونی پیشرفت این نظریه، حقیقت بی‌اندازه مهمی نمایان شد: نظریه میپرنیتیک، که در برخورد اول نسبت به روان‌شناسی بیگانه به نظر می‌رسد، دقیقاً به فعالیت انسان پیوستگی دارد، نه به این مفهوم سطحی که هر آنچه دوروبر آدم باشد بر فعالیت او اثر می‌گذارد، بلکه به این مفهوم عمیق که بازی، به عنوان شکل خاصی از فعالیت، مظهری کلی از دیگر شکل‌های فعالیت است. به همین مناسبت است که بازی، در طرح نظری خود، جزئی از روان‌شناسی به حساب می‌آید. ضمناً باید به یاد داشت که برای این که بتوانیم طرح بازی را به طور کامل در نظریه روان‌شناسی وارد کنیم، باید تغییرهایی در آن بدهیم تا بتوانیم آن را در مورد فعالیت‌ها به کار ببریم. باید یادآوری کرد که نظریه بازی، تنها یکی از نمونه‌های کاربرد امکان‌های ریاضی در بررسی‌های روان‌شناسی است. روش‌های مشابهی وجود دارد که به طور گسترده‌ای در زمینه روان‌شناسی عملی و مبارزه به کار می‌رود. بعضی از آن‌ها را نام می‌بریم: روان‌شناسی عملی و ترکیب‌نگاشت آگاهی‌ها، روش‌های ریاضی بررسی عمل‌ها، مسأله‌های مربوط به انبوه وظایف و میزان اطمینان در دستگاه‌های بزرگ، مدل‌بندی دستگاه‌های پیچیده و غیره. عجیب نیست اگر نوشته‌های موجود درباره این موضوع‌ها، تنها جزئی از آنچه را که درباره مدل‌بندی ریاضی منتشر شده است، تشکیل می‌دهند.

ما در این جایی توانیم حتی خط‌های اصلی مسأله‌های بنیادی روان‌شناسی عملی را مشخص کنیم و تنها به ذکر بعضی از آن‌ها می‌پردازیم. به عنوان نمونه، از کاربرد مدل‌های تقلیدی در روان‌شناسی عملی نام می‌بریم. به قول نویسندگان مقاله «مدل تقلیدی فعالیت گروهی اپراتور»، مدل‌بندی تقلیدی

به عنوان روشی برای بررسی مؤثر بودن دستگاه «انسان - ماشین»، که مقتضیات روان‌شناسی مهندسی و ویژگی‌های فنی و اقتصادی را با هم در نظر گرفته باشد، در سال‌های اخیر انتشار گسترده‌ای پیدا کرده است. از مدل‌های تقلیدی، می‌توان در همه زمینه‌های گوناگون فعالیت انسانی، از خدمات فنی و تکنیکی گرفته تا سیاست بین‌المللی، استفاده کرد. با همه اینها و با وجودی که این مدل‌ها کاربرد گسترده‌ای دارد، هنوز نتوانسته‌اند اصول ساختن، مرز کاربرد و همچنین محتوی نتیجه‌های حاصل از آن‌ها را روشن کنند. به همین مناسبت است که نویسندگان مقاله نامبرده، «سه روش برای طرح مسأله مدل تقلیدی» را مورد بررسی قرار می‌دهند. آن‌ها متذکر می‌شوند که در روان‌شناسی عملی و در بررسی ثمربخشی و قابل اطمینان بودن دستگاه «انسان - ماشین» برای به کار گرفتن مدل‌های تقلیدی، سه نیاز عملی وجود دارد: ۱) تمایل به وجود شرح و تعریف واحدی، چه برای مؤلفه‌های انسانی و چه برای مؤلفه‌های فنی دستگاه، ۲) ضرورت نشان دادن روند عمل کرد دستگاه «انسان - ماشین» به صورت کلی، به نحوی که بتوانیم «زیر دستگاه‌ها» و بستگی بین آن‌ها را تشخیص و مورد مطالعه قرار دهیم، ۳) اشتیاق به احتراز از شرح تفصیلی روندهای درون دستگاهی. سپس نویسندگان مسأله‌هایی از نوع مقام و موقعیت مدل‌های تقلیدی در دستگاه کلی مدل‌ها، تکامل تدریجی مدل‌بندی تقلیدی، محتوی مدل‌های تقلیدی از لحاظ روان‌شناسی و غیره را، به تفصیل مورد بررسی قرار می‌دهند. از طرف دیگر، بدون هیچ مبالغه‌ای می‌توان گفت که مسأله تجزیه و تحلیل دقیق نظری و مقیاس‌هایی که برای ارزیابی روندهای انفورماتیونی در روح آدمی وجود دارد، یکی از مبرم‌ترین مسأله‌ها چه در زمینه روان‌شناسی نظری و چه در مورد روان‌شناسی عملی، می‌باشد.

یو. م. زابودین، ا. د. دوژین و د. ف. دوباخین در مقاله «بعضی مسأله‌های مربوط به استفاده از روش‌های انفورماتیونی، در روان‌شناسی عملی»، خاطر نشان می‌کنند که: ساختمان پیچیده و در عین حال منظم روند قبول و آماده کردن آگاهی‌ها، در سطح تخصصی بالایی، هم به تجزیه و تحلیل نظری و هم به بررسی‌های تجربی آن‌ها، نیاز دارد. نویسندگان این مقاله



متذکر می‌شوند که در سال‌های اخیر، نزدیکی زیادی بین روش‌های ریاضی، سیبرنتیکی و روان‌شناسی بررسی‌ها، هم از جهت نتیجه‌گیری‌ها و هم از نظر ساختمانی، با عمل کرد و پیدایش روندهای انفورماسیونی (که قسمتی از روندهای روحی انسان را تشکیل می‌دهند)، مشاهده می‌شود.

نویسندگان، ضمن تشخیص سه نوع تجزیه و تحلیل از بعضی روندهای قبول و تربیت آگاهی‌ها، آن‌ها را به این ترتیب نام می‌برند: اول تجزیه و تحلیل ساختمان عنصرهای روند، ثانیاً تجزیه و تحلیل ویژگی‌های روند، در شرایط عینی و تجربی متفاوت، و ثالثاً تجزیه و تحلیل سرچشمه روندها و تکامل آن‌ها در حیطه زندگی انسانی (تجزیه و تحلیل ژنتیکی).

مسأله‌هایی از قبیل مدل نظری - انفورماسیونی فعالیت گرداننده‌ها (اپراتورها) ارزیابی عددی کارآیی انفورماسیونی گرداننده‌ها در دستگاه‌های بازبینی و هدایت، همچنین پیش‌بینی سطح کارآیی انفورماسیونی گرداننده‌ها، با چیزهایی که طبق برنامه دقیق زمانی کار می‌کنند، اهمیتی خاص دارد.

رساله «روش‌ها و امکان‌های بالابردن ثمر بخشی کار گرداننده‌های RLS» را، که به مسأله‌های مربوط به روان‌شناسی عملی جنگی اختصاص دارد، مورد بررسی قرار می‌دهیم (این رساله بر مبنای نوشته‌ها و پژوهش‌های غربی تنظیم شده است). ف.ای. دیباکوف، و.ن. ماکوخین و و. گریکودیف، نویسندگان این رساله، می‌نویسند که نوع درک نظریه پردازان جنگی غرب بر همه معلوم است. آن‌ها معتقدند که جنگ‌های امروزی را باید از موضع رابطه متقابل دستگاه‌های «انسان - ماشین» بررسی کرد. به علت کاربرد گسترده‌ای که این دستگاه‌ها در جنگ دارند، خصالت فعالیت گرداننده‌هایی که قسمت‌های خاص و مختلف این دستگاه‌ها را هدایت می‌کنند، به طور جدی کسب اهمیت می‌کند. قبول آگاهی‌ها و استنباطی که از آن‌ها به وجود می‌آید، برنامه‌ریزی کارها، تصمیم به کنترل ضمن اجرای آن‌ها - این‌ها مهمترین چیزهایی است که به فعالیت گرداننده‌ها مربوط می‌شود.

طبیعی است که این وضع موجب شد که روش‌ها و توصیه‌های روان‌شناسی عملی، هم برای آماده کردن گرداننده‌ها، هم برای به وجود آوردن شکل‌های کاملاً تازه‌ای در تکنیک جنگی و هم برای حل مسأله‌های مربوط

به هدایت خرد کار جنگ‌ها (با همه پیچیدگی آن) کاربرد گسترده‌ای پیدا کند. همه این‌ها به این‌جا منجر شد که روان‌شناسی عملی جنگی در زمان مایشرفت کند و مسیرهای تازه‌ای در آن پیدا شود. به عنوان مهمترین این مسیرها، می‌توان از روان‌شناسی سیرنیتیکی، روان‌شناسی بهره‌دهی، روان‌شناسی - روانی - زیستی و روان‌شناسی ترتیبی عملی، نام برد.

ضمن پیشرفت امکان‌های مربوط به آموزش گرداننده‌های RLS، در کاربرد کامپیوتر هم دگرگونی‌های بنیادی به وجود آمد، چرا که کامپیوتر می‌تواند در زمینه آموزش - چه عملی و چه نظری - امکان زیادی را در اختیار بگذارد. در این مورد، ویژه کاران بررسی‌های زیادی از جهت روان‌شناسی نظری کرده‌اند که به نظریه آموزش، مدل‌بندی کسانی که آموزش می‌بینند و همچنین رابطه‌ای که بین دوطرف آموزش - معلم و شاگرد - وجود دارد، مربوط می‌شود.

همه این‌عامل‌ها، اثری جدی بر کاربرد روش‌های ریاضی در روان‌شناسی عملی جنگی باقی گذاشته است.

با بررسی کوتاهی که در مورد شکل‌های گوناگون استفاده از ریاضیات در روان‌شناسی کردیم و ضمناً شاخه‌های مختلفی از روان‌شناسی را، که به نحوی از این روش‌ها استفاده می‌کنند، نام بردیم، می‌توانیم به نتیجه گیری - های کلی بپردازیم. استفاده از روش‌های ریاضی، و سپس به کار گرفتن کامپیوتر، به روان‌شناسان اجازه می‌دهد که داده‌های تجربی و فرضیه‌های نظری را با دقت بی‌نظیری مورد تجزیه و تحلیل قرار دهند.

به این ترتیب، وقتی که گفتگو از نتیجه‌هایی است که باید از آزمایش‌ها به دست آورد، کامپیوتر نه تنها می‌تواند روان‌شناسان را از کار پر زحمت سیاه و بی‌ثمر معاف کند، بلکه به جز آن، امکان‌های کاملاً تازه‌ای را هم در اختیار آن‌ها می‌گذارد. امتیاز اصلی کامپیوتر در تجزیه و تحلیل داده‌های تجربی، در این است که به کمک آن می‌توان تجزیه و تحلیل همه‌جانبه‌ای ارائه داد: کامپیوتر قادر است به گذشته مراجعه کند، هر جا که لازم باشد، داده‌ها را اصلاح کند و... وقتی که به جای کامپیوتر، بخواهیم داده‌های تجربی را «با دست» مورد تجزیه و تحلیل قرار دهیم، با وجود صرف وقت بسیار، در

غالب موارد نمی‌توانیم به نتیجه‌ای که مورد نظرمان است، برسیم. علاوه بر این، استفاده از کامپیوتر در بررسی‌های روان‌شناسی، نه تنها امکان خودکار کردن آزمایش‌ها را فراهم می‌کند، بلکه حتی می‌تواند به این آزمایش‌ها جهت بدهد و آن‌ها را در مسیر لازم هدایت کند.

کامپیوتر در مدل‌بندی فعالیت‌های انسانی هم نقش اساسی دارد. در واقع بدون وجود کامپیوتر، حتی تصور چنین مدل‌بندی‌ها را نمی‌توان کرد. همچنین، بدون حسابگرهای الکترونی، نمی‌توان تصویری دربارهٔ بسیاری از طرح‌ها و دست‌آوردهای روان‌شناسی عملی، به‌خود راه داد.

البته، وقتی دربارهٔ دورنمای کاربرد آیندهٔ ریاضیات در روان‌شناسی گفتگو می‌کنیم، باید به این حقیقت اعتراف کنیم که به‌خاطر پیچیدگی موضوع بررسی‌های روان‌شناسی به‌نظر می‌رسد که بسیاری از پدیده‌های روان‌شناسی معاصر، بیرون از دسترس روش‌های دقیق ریاضی قرار دارد. به‌همین مناسبت است که بسیاری از دانشمندان تردید دارند که روش‌های ریاضی بتوانند در آینده‌ای نزدیک به‌همان اندازه که در زمان ما در زیست‌شناسی نفوذ کرده‌اند، در روان‌شناسی هم نفوذ کنند.

با وجود این، با توجه به حرکت تندی که روان‌شناسی ریاضی در زمان ما به‌طرف جلو پیدا کرده است، می‌توان امیدوار بود که این تردید خیلی زود برطرف شود.

# ریاضیات و موسیقی

گاهی اقسام موسیقی که هرمس  
پدید آورد بر الحان دیگر  
گاهی اقلیدس و منطق که بنهاد  
سطاطاليس استاد سکندر  
ناصر خسرو

«بدان، که علم موسیقی یکی از اصول حکمت ریاضی است که علم به  
احوال نغم و اختلاف آن و حال ابعاد و انتقالات و ارتفاع و کیفیت  
تألیف الحان است. و این علم، از تألیف و وضع حکماست که روح را از  
آن لذتی و قرهی است نه جسم را. و موضوع آن سمع است و نفس را به  
واسطه آن حرکتی و جنبشی حاصل شود و از آن لذت یابد...»

بحرالالحان - فرصت شیرازی

(۱۲۷۱-۱۳۳۹ هجری قمری)

«... ریاضیات دانشی است که کمیت‌های انتزاعی را بررسی می‌کند...  
این دانش، به شاخه‌های زیر تقسیم شده است: حساب، موسیقی، هندسه و  
نجوم. حساب عبارت است از دانش کمیت‌هایی که به وسیله عدد بیان می‌شوند.  
موسیقی هم، دانشی است که کارش بررسی عدد است، منتهی در بستگی‌هایی  
که این عدد، با پدیده صوت دارد...»

کامیوودور، دانشمند رومی

(سده ششم میلادی)

## ۱. ورود به مطلب

سخن کامیوودور، مربوط به سده ششم میلادی است؛ دوران درخشانی  
که هنوز زیست‌شناسی از فیزیک جدا نشده بود و دانش شیمی اصلاً به وجود

نیامده بود. کمی بعد، ابونصر فارابی، در «احصاء العلوم» خود، ریاضیات را به هفت شاخه تقسیم کرد: حساب، هندسه، نور، اخترشناسی، موسیقی، زیبایی‌شناسی و بالاخره دانش مربوط به استادی و مهارت؛ و ابن سینا (۳۷۰ - ۴۲۸ هجری قمری) موسیقی را قسمت اصلی از اقسام چهارگانه ریاضی می‌دانسته است. به اعتقاد ابن سینا، ریاضیات عبارت بوده است از دانش موسیقی، دانش عدد، دانش هندسه و دانش اخترشناسی.

«... موسیقی، یکی از علوم ریاضی است که منظور آن، مطالعه صداهای موسیقی، بحث در ملایمت و همچنین کشش آن‌ها و قواعد ساختن قطعات موسیقی است. بنابراین، علم موسیقی شامل دو قسمت است: علم ترکیب نغمات مربوط به صداهای موسیقی و علم اوزان مربوط به زمان‌هایی که صداهای يك نغمه را از یکدیگر جدا می‌سازد. پایه‌های این‌دو، بر اصولی استوار است که از علوم خارج از موسیقی اخذ می‌شود؛ بعضی از این اصول از ریاضی و برخی از فیزیک و علوم طبیعی و بعضی دیگر از هندسه گرفته می‌شود...»

امروز کم‌تر کسی است که بتواند این گمان را به‌خود راه دهد که بتوان موسیقی را به‌عنوان شاخه‌ای از ریاضیات توضیح داد. چرا که در طول زمان، و با گذشت سده‌های بسیار، نوعی روبه‌رویی و تقابل، بین دانش و هنر، پدید آمده است.

ولی، دوران ما را، علاوه بر نام‌ها و عنوان‌های دیگری که به خود اختصاص داده است، می‌توان بیش از هر چیز، دوران به هم پیوستن دانش‌های مختلف، و ضمناً، دوران به هم پیوستن دانش و هنر دانست. و نمونه این وضع را، در زمان ما، می‌توان به‌طور روشن در مورد ریاضیات و موسیقی درك کرد.

و این، نه شگفتی‌آور و نه غیر طبیعی است. دانش و هنر، هر دو زائیده خلاقیت فکری و عملی انسان در طول زمان و در بستگی بانیازهای روحی و جسمی اوست. دانشمند و هنرمند، هر دو انسانند و آفریده‌های آن‌ها هم جز برای انسان و به‌خاطر انسان نیست. این است که در بادی امر، و

برای نیاکان دور ما، آنچه که آفریده روح و ذهن و کار آدمی بود، محصول واحدی به شمار می‌آمد و زیر هر عنوان - مذهب یا جادوگری و یا بعدتر فلسفه - شامل همه دانش‌ها و هنرهای شد و بعد، همین که ذهن جست‌وجوگر آدمی، به خاطر زندگی پیچیده‌تری که پیدا کرده بود، نمی‌توانست همه چیز را با هم و به صورت یکپارچه مورد تحلیل قرار دهد، و به خاطر ساده‌تر کردن بررسی‌ها و بهتر شناختن قانون‌های طبیعت و جامعه و انسان، رشته‌ها و تخصص‌ها را به وجود آورد و دانش‌های مختلف و هنرهای گوناگون را با نام‌های قراردادی متفاوت بنیان گذاشت و امروز، که به خاطر دگرگونی‌های عمیق در رابطه انسان با طبیعت و افراد و جامعه‌های انسانی بایکدیگر، ضرورت شناخت همه آنچه که «انسانی» است و یا مربوط به انسان است، پدید آمده؛ دوباره سیلاب‌های متعدد تخصص‌ها و پراکندگی‌ها به هم می‌پیوندند و با بینشی بالاتر و امکاناتی گسترده‌تر، یکپارچگی طبیعت، جامعه و روح آدمی احیا می‌شود و ناسازگاری‌ها و پراکندگی‌ها و نابرابری‌ها نابود می‌شود.

امروز دیگر نمی‌توان هنر را جدا از دانش و یا دانش را جدا از هنر تکامل داد؛ همان‌طور که خلوت نشینی و ذهن‌گرایی هم - که در زمانی هم میسر و هم متریقی بود - کار انسان پیشرو امروزی نیست و بدون یاری گرفتن از یکدیگر و بدون بهره‌جستن از تمامی تجلیات فکر و عمل آدمی، نمی‌توان راهی به جهان بهتر فردا پیدا کرد.

هنر، کاملاً انسانی است و هیچ جنبه «غیرانسانی»، چه والا تر و چه فروتر، ندارد. به قول مرحوم محسن هشرودی، هنرمند ریاضی‌دان:

«..... مایه هنر، احساس هنرمند است. احساسی که با سیر وقفه ناپذیر زمان به هم آمیخته، گویی با گذشت مدام عمر در جدال است و می‌کوشد به هر قسم که باشد، عمر کوتاه آدمی را جاویدان ساخته و در آغوش ابدیت زمان پایدار سازد. موسیقی، بهترین نماینده این کوشش و کشش است. آهنگ‌های گریزنده آن، نماینده آنات زودگذر زمان و توالی ناله‌های لرزنده‌اش، نمودار پیوستگی لحظات پیاپی زمان است. می‌توان

این کوشش هنرمند را، در اعماق هر اثر هنری یافت... چرا موسیقی و معماری، نسبت به سایر هنرها زودتر تکامل یافته و تجدد و تنوع در آنها، فی‌المثل از ادبیات و نقاشی کم‌تر است. نویسندۀ این سطور چنین می‌پندارد که در این دو هنر، گرایش علمی بیش از سایر هنرهاست؛ در موسیقی، از دیرباز، نسبت گام‌های موزون شناخته شده و در معماری به کار بستن قواعد هندسی در نسب و ابعاد، قوانین متبع به‌دست داده بود. در حالی که، فی‌المثل در نقاشی، هنر مجرد باقی می‌ماند و هنرمند از اشکال و صور و رنگ‌ها مدد می‌گیرد...

تنها نکته‌ای که باید به سخنان استاد اضافه کرد، این است که امروز این «گرایش علمی» هنرها پیدا شده است و این به هم پیوستگی «دانش و هنر»، که در زبان ما به مرحله «جبری» خود رسیده است، تنها ضامن پیشرفت هم این و هم آن است و به روزگاری رسیده‌ایم که «هنر مجرد»، با حفظ همه جنبه‌های اختصاصی و انسانی خود، چاره‌ای جز بیرون آمدن از مخفی‌گاه رازگونه خود ندارد. ولی، در این باره، نه باید تند رفت و همه چیز را یکباره با معیار «ماشین» و «اندازه‌گیری» سنجید و نه کورکورانه از «سنتها» و تصورات ذهن‌گرایانه پیروی کرد. دانش و هنر، هنوز جایگاه‌هایی جدا از هم دارند و هر کدام از موضع خود به انسان خدمت می‌کنند. آنچه که تازگی دارد و باید از مشخصات زمانه ما شمرده شود، هماهنگی آنها با هم و سودجستن این از آن و یا آن از این است. روش دآوری را از ابن‌سینا بیاموزیم که در «شفا» گفته است:

«همچنین از جست‌وجوی رابطه‌ای بین اوضاع و احوال آسمان، خواص روح و ابعاد موسیقی خودداری می‌کنیم، و گرنه روش کسانی را که از حقیقت علم آگاهی ندارند پیروی کرده باشیم. اینان وارث فلسفه‌ای مندرس و سست می‌باشند و صفات اصلی و کیفیات اتفاقی را به جای هم گرفته‌اند و خلاصه کنندگان نیز از آنها تقلید کرده‌اند. ولی، اشخاصی که فلسفه حقیقی را فهمیده و مشخصات صحیح اشیاء را درک کرده‌اند،

اشتباهاتی را که در اثر تقلید رخ می‌دهد، تصحیح نموده و غلط‌هایی را که زیبایی‌های اندیشه‌های کهنه را می‌پوشاند، پاک کرده‌اند، اینان سزاوار تحسینند...»

## ۲. اندکی تاریخ

«اهمیت دشواری‌هایی که در راه شناسائی دانش موسیقی و حل مسأله‌های گوناگون آن وجود دارد، چه برای سده شانزدهم پیش از میلاد و چه برای سده شانزدهم بعد از میلاد، به يك اندازه است.»

ف. کوئتر — موسیقی‌شناس و مورخ امریکایی

«... صدا دارای تمام صفاتی است که به‌منوان رابطه بین حیوانات، برای درك حضور یکدیگر به‌کار می‌رود و تنها خاصیتی از اجسام مادی است که در همه استمدادها ظهور می‌کند.»

ابن سینا

در این مقاله، نه می‌خواهیم به نظریه زیبایی‌شناسی بپردازیم و نه از مکتب‌ها و یا روش‌های موسیقی گفت‌وگو کنیم. ما تنها می‌خواهیم به رابطه‌ای که موسیقی با ریاضیات دارد بپردازیم و این که این هر دو، بازتابی از ذهن سنجیده و نظم‌پذیر آدمی است و طبعاً باید سرآخر به هم پیوندند و دانش واحدی را تشکیل دهند.

ریاضیات قدیمی‌ترین دانش‌ها و موسیقی کهن‌ترین هنرهاست و قدمت هر دو به دورترین دوره‌های پیش از تاریخ می‌رسد. آدمی به هر دوی این‌ها نیاز داشت و همان‌گونه که آتش را احترام می‌گذاشت و از اجاقی به اجاق دیگر و از نسلی به نسل دیگر منتقل می‌کرد، به «روش‌های محاسبه‌ای» و «الخان موسیقی» هم‌ارج می‌گذاشت و از خاطره‌ای به خاطره دیگر می‌رساند و «سنت» آن‌ها را زنده نگه می‌داشت.

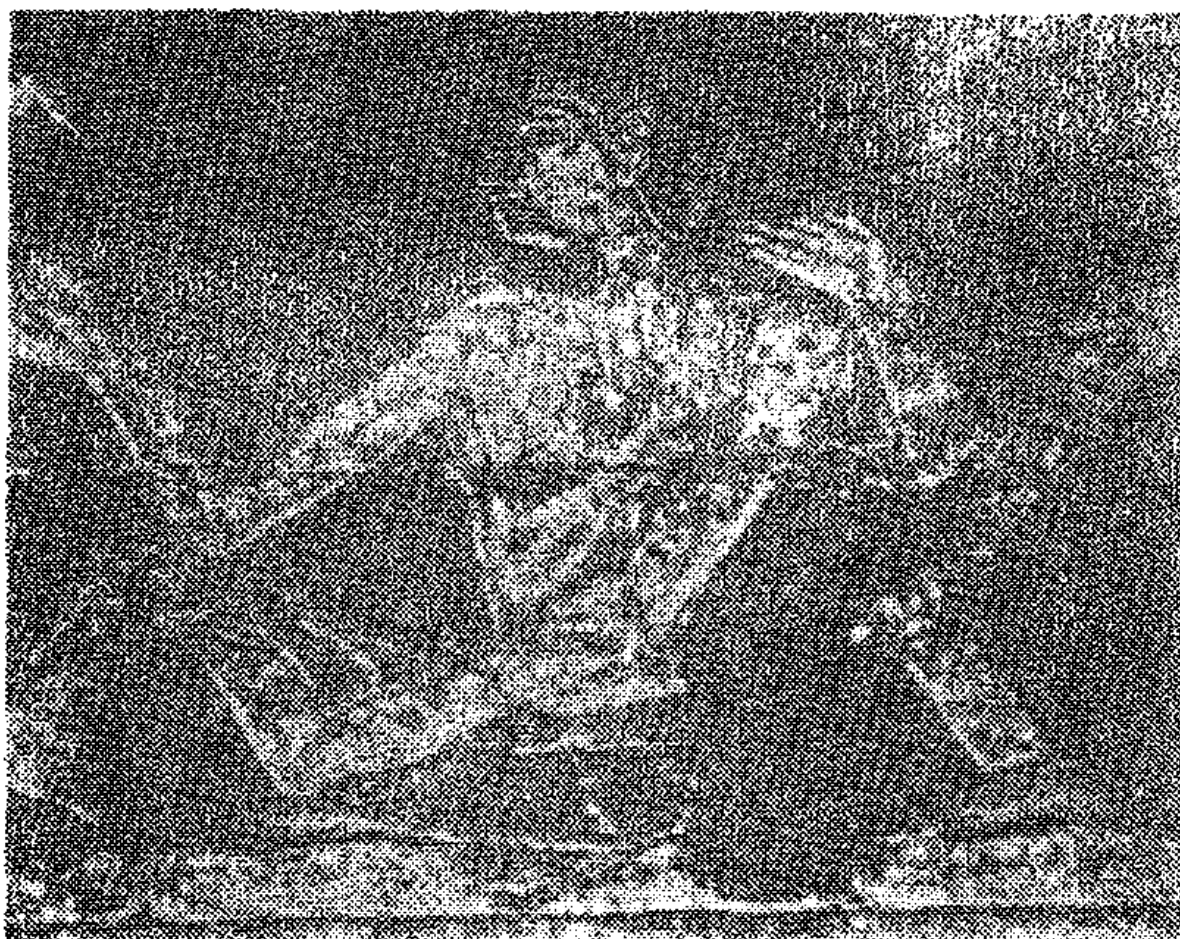
به قول ب. سمولیاکوف، متخصص سرشناس تاریخ موسیقی «.....چه قدر خوب بود اگر در منطقه‌های همیشه یخبندان و یا در آرامگاه‌های شاهان باستانی، در کنار چیزهای دیگر، آثاری هم از صدا و موسیقی پیدا می‌شد.» ولی، چنین نیست. «صوت» را نمی‌شد مثل سایر چیزها نگه داشت و به همین مناسبت تلاش برای احیای موسیقی گذشته و شناخت آن، کاری



بسیار دشوار است و با وجودی که امروز، برای شناسایی گذشته پیچیده‌ترین امکان‌های علمی موجود به یاری گرفته شده است، بازسازی موسیقی گذشته، تقریباً در گام‌های نخستین خود قرار دارد.

باستان‌شناسی کمک می‌کند تا اساسی‌ترین مدرک‌ها جمع‌آوری شود؛ یادداشت‌های مربوط به موسیقی در روی سنگ‌ها، گل‌های پخته، پوست، پاپیروس؛ و نیز آلت‌های موسیقی گذشته‌های دور و رساله‌های نظری مربوط به موسیقی. در این زمینه، نقش‌های برجسته و مجسمه‌های نوازندگانی که در حال نواختن و یا خواندن هستند و نوشته‌های تاریخی و شاعرانه نویسندگان باستان درباره جشن‌ها و مراسمی که موسیقی در آن‌ها نقش مهمی داشته است، همه به یک اندازه دارای ارزش‌اند.

اما، موسیقی نسل‌های گذشته چه گونه زندگی دوباره می‌یابند؟  
یک آلت موسیقی را که مربوط به زمان گذشته است، به شرطی که



شکل ۱. نقش برجسته از آرامگاه «تی». مصریان باستان، به کمک چنین حالت‌هایی، تلاش می‌کردند صداها را معینی را نشان دهند (مصر - سلطنت کهن).

خوب مانده باشد، مورد مطالعه قرار می دهند، دیاپازون صدا دهی و امکان های فنی آن را معین می کنند. اگر این وسیله، در اثر گذشت زمان دچار خرابی هایی شده باشد، آن را مرمت می کنند و یا ساز دیگری را با همان خصوصیت هами سازند. بعد از روی رساله هایی که درباره موسیقی زمان گذشته، نوشته شده است، آگاهی هایی درباره ردیف های صوتی و فاصله هایی که به کار می رفته، به دست می آورند. بالاخره اگر یادداشت کشف رمز شده ای هم در دست باشد، با بازخوانی آن، قطعه کوچکی از موسیقی اصلی باستانی را آماده می کنند.

ولی، مطلب همیشه به این سادگی نیست. کم تر پیش می آید که در يك مورد، به همه مدرک های مورد نیاز دسترسی پیدا شود. مثلاً آلت موسیقی در دست است، ولی یادداشت های مربوط به آن موجود نیست (و یا هنوز خوانده نشده است)؛ یا روش نواختن سازی که پیدا شده است، معلوم است، ولی هیچ گونه آگاهی های نظری در دست نیست و...

تا آن جا که به موسیقی جهان کهن مربوط می شود، ما تعداد زیادی آلت های موسیقی و مقدار ناچیزی اثرهای خطی موسیقی در دست داریم. تنها از آغاز نخستین هزاره بعد از میلاد، تعداد دستخط های مربوط به موسیقی، فزونی می گیرد، به نحوی که در سده هیجدهم تعداد آن ها به هزارها می رسد. ولی، در این جا هم ناامیدی در انتظار ماست، زیرا قسمت عمده این دستخط ها، کشف رمز نشده اند.

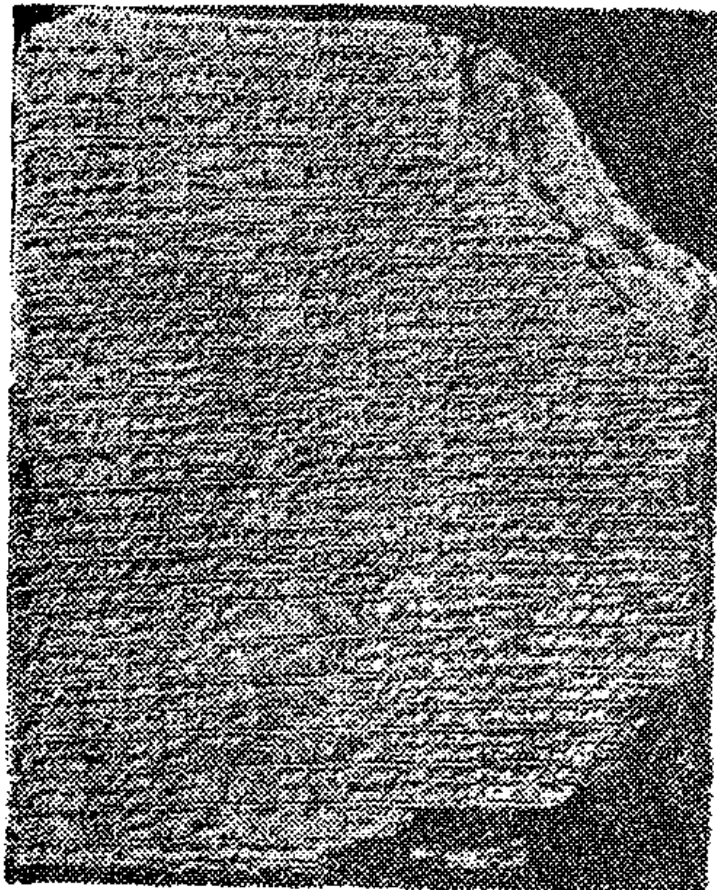
یادگارهای خطی موسیقی، به اندازه شاهکارهای ادبی، هنرهای تجسمی و معماری سده های گذشته، ارزش دارند. ولی متأسفانه در حال حاضر، افراد بسیار کمی در جست و جوی این یادداشت ها هستند. تعداد این افراد کم است و یاری به آن ها ضروری.

ابونصر فادایی در بیش از هزار سال پیش در کتاب «موسیقی الکبیر» خود نوشت: «... انسان نباید به قضاوت شخصی خود قناعت ورزد و باید عقاید دیگران را نیز مورد دقت قرار دهد... در موسیقی، مانند نجوم، اصولی قابل قبول است که متکی به شهادت عموم باشد». و این «شهادت عموم»، برای پژوهشگر امروزی، عبارتست از بهره گیری از همه امکان.

هایی که از گذشته به یادگار مانده است. یادداشت کردن موسیقی، به مراتب دشوارتر از یادداشت اندیشه و سخن است. صوت موسیقی، دارای ارتفاع، طول و نیرو است، یعنی دارای سه بعد است و به همین مناسبت ثبت و ترسیم آن‌ها، با دشواری‌های زیادی همراه می‌شود.

بشر، تا مدت‌ها نمی‌توانست از عهده این دشواری برآید. بگذریم از این‌که حتی نت‌های امروزی هم، بعد از پیمودن راه دشوار هزار ساله تکامل خود، هنوز قادر نیستند تمامی غنای صوت موسیقی را بیان کنند. به قول ل. متوکووسکی، نوازنده سرشناس «آنچه را که می‌توان یادداشت و چاپ کرد، تنها قسمتی از همه آن چیزی است که در اصل موسیقی نواخته می‌شود.»

با همه این‌ها، آیا نیاکان ما هم تلاش می‌کردند تا راهی برای نگهداری صوت‌ها و ملودی‌ها پیدا می‌کنند و آنها را با نشانه‌های ترسیمی به ما



شکل ۲. کتیبه کوچک سومری، با خط میخی و روی گل پخته. در ستون وسط، متن سرود «در باره خلقت انسان» و در ستون راست، ترجمه آسوری آن داده شده است. در ستون چپ، حدس می‌زنند که یادداشتی درباره موسیقی مربوط به دوران سومری باشد (هزاره سوم پیش از میلاد).

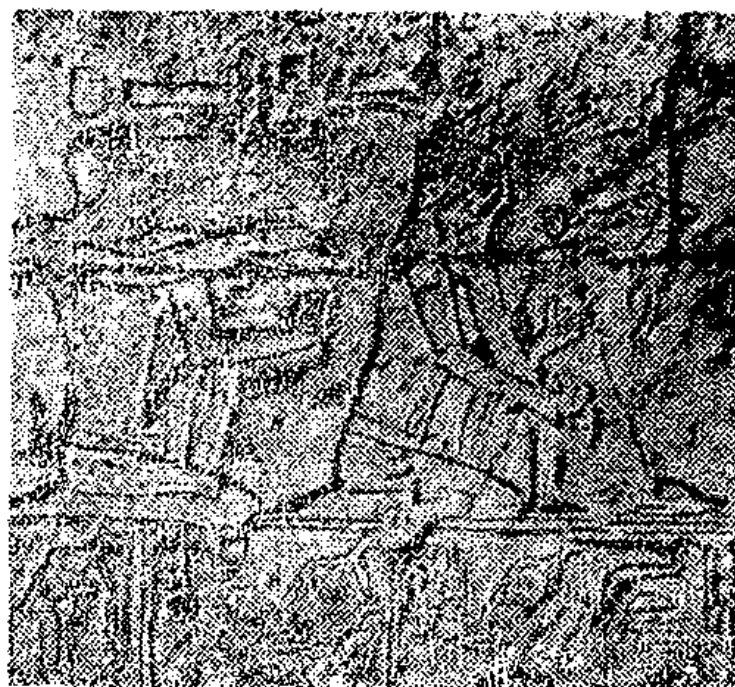
برسانند؟ بله، تلاش می‌کردند. به نظر می‌رسد که نخستین یادداشت‌ها در این مورد، شبیه نخستین علامت‌های خطی قدیمی، به صورت خط تصویری (پیکتوگراف) بوده است. متأسفانه، تصویرهای مربوط به موسیقی دوران پیش از تاریخ به ما نرسیده است. ولی، تصویرهای جالبی از بومیان امریکای شمالی در پایان سده گذشته، پیدا شده است که در آن‌ها، تلاشی برای ثبت زبان موسیقی دیده می‌شود: خط‌های موج‌دار و یا راست که از دهان يك شکارچی و یا جادوگر بیرون آمده است؛ یا انسانی با يك «ستاره نيك بختی» که از لب‌های او به پرواز درآمده است و به معنای يك ترانه کامل شکارچی است.

سده‌ها گذشت. تصویرهای نخستین، که وسیله‌ای برای نوشتن بود، کم‌کم ساده‌تر شد، خط‌های هیروگلیف، میخی و بالاخره حرف‌های الفبا پیدا شد و جالب این‌جاست که تمام این‌ها، به عنوان نشانه‌های موسیقی هم به کار گرفته می‌شدند. مدت‌ها بود که با وجود گسترش خط هیروگلیف مصری،



شکل ۳. تصویری بر يك صخره در کوه‌های مالوتی در باسوآلند (در لوتو). نوازنده‌ای در حال نواختن.

هیچ گونه ردپایی از موسیقی به دست نمی‌آمد و به همین مناسبت، بسیاری از دانشمندان، وجود خط موسیقی را در مصر باستان نفی می‌کردند. ولی، به هر حال، چنین وضعی عجیب بود. در مصر باستان، هنر موسیقی شکوفا



شکل ۴. نوازندگان سوهری (هزاره سوم پیش از میلاد).



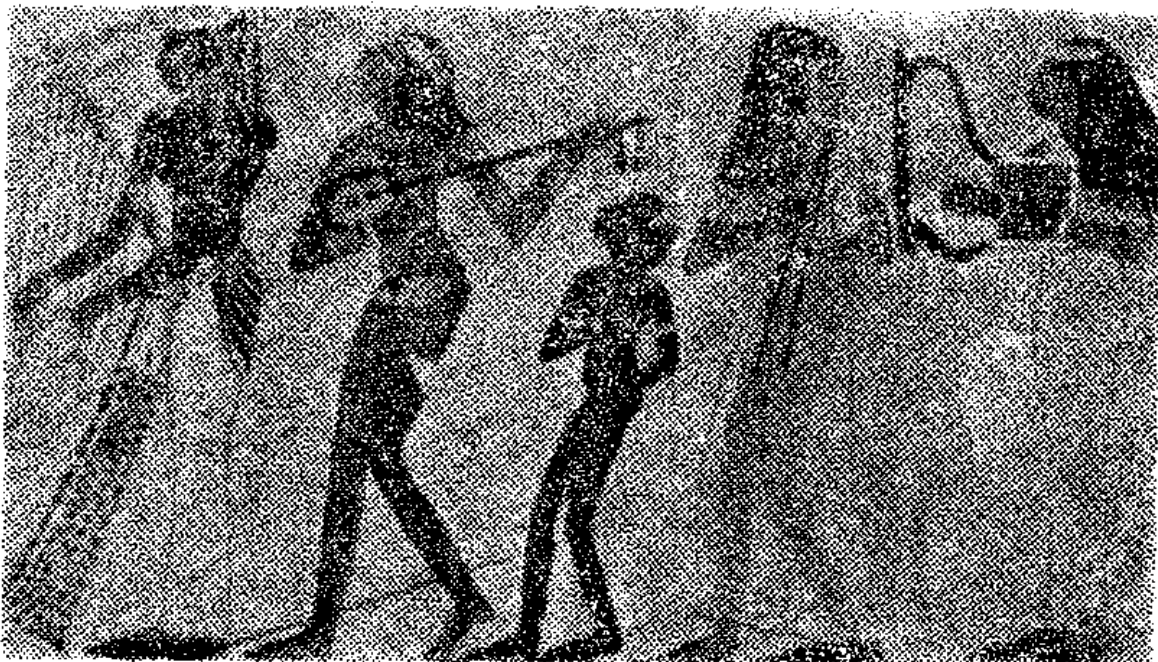
شکل ۵. نقش برجسته از آرامگاه پتاخوتپ. خیلی احتمال دارد که حالت نگه داشتن دو دست به این صورت، نشانه‌ای از وجود دو صدا باشد که باید در يك لحظه و با هم اجرا شود (مصر - سلطنت کهن).



شده بود و به گواهی تاریخ، نوازندگان از احترام زیادی برخوردار بودند و حتی در میان کاهنان، متخصصین مشهوری در زمینه نظریه موسیقی وجود داشته است. و به این ترتیب، قبول این فکر دشوار بود که مصری‌ها، با وجود داشتن خط پیشرفته‌ای چون هیروگلیف، نتوانسته باشند خط موسیقی را به وجود آورند.

هیگمن، دانشمند آلمانی که شخصیت برجسته‌ای در شناسایی موسیقی باستانی مصر دارد، ثابت کرد که مصریان با همان خط هیروگلیفی، حتی تداوم صوت‌های موسیقی را، ثبت می‌کرده‌اند. در صحنه‌های موسیقی، که روی دیوارهای بناهای عصر سلطنت کهن (سه هزار سال پیش از میلاد) کنده شده است، همراه با نوازنده‌های اجراکننده، «رهبران ارکستر» هم نقش شده است؛ دستی که از آرنج خم شده است، با حالت معین پنجه و انگشتان، معرف صدای معینی است. و هیگمن سعی می‌کند معلوم کند کدام حالت، معرف کدام صدا است.

تا آن جا که می‌دانیم، این تصویرها، قدیمی‌ترین یادداشت‌های مربوط به موسیقی هستند که به ما رسیده است. ولی از «حالت دست» نقش‌های مصر باستان تا «نت‌های امروزی» راه درازی پیموده شده است. يك یادداشت موسیقی هم، که مربوط به هزاره سوم پیش از میلاد

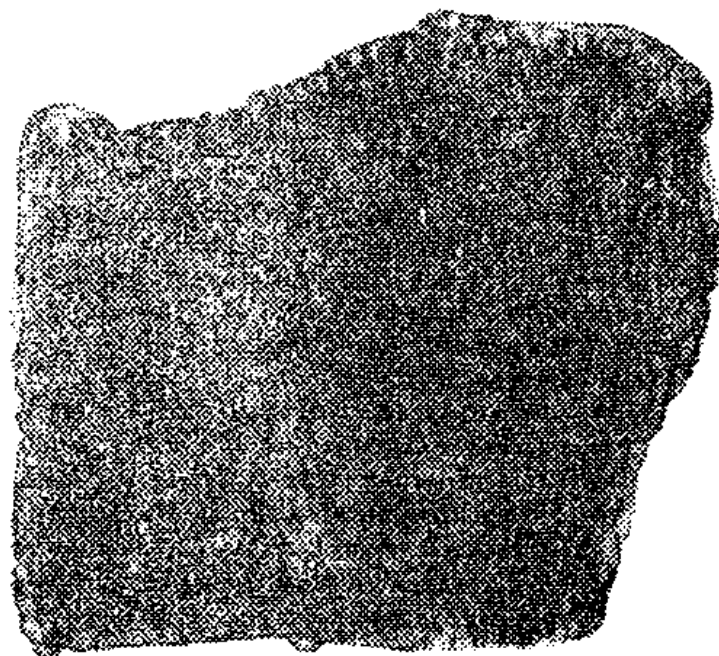


شکل ۶. نوازندگان زن. نقش دیواری (مصر باستان - سده پانزدهم پیش از میلاد).

است، از بین‌النهرین باستانی به ما رسیده است و رمز آن را لا. ذاکس، موسیقی‌شناس آلمانی، کشف کرد.

این یادداشت بر روی لوحه گلی نوشته شده و متن آن، از روایت سومری «خلقت انسان» گرفته شده است. در این یادداشت، به جز خط میخی متن، نشانه‌های دیگری هم وجود دارد که آن‌ها را هم نشانه‌های مربوط به موسیقی می‌دانند. به نظر ذاکس این یادداشت‌ها، برای اجرای موسیقی با چنگ به همراه ملودی آوازی بوده است.

همه عنوان‌های کتاب سی. کرامر، سومر شناس امریکایی، به نام «تاریخ از سومر آغاز می‌شود»، و با واژه «نخستین» آغاز می‌شود: «نخستین مکتب»، «نخستین تاریخ‌نویس»، «نخستین بحث ادبی» و ... کتاب، بخش‌هایی با این عنوان‌ها دارد: «نخستین سرودهای تدفین»، «نخستین ترانه عشقی». در بخش اخیر، نویسنده درباره مراسم سالانه شاه، که در روز سال نو برگزار می‌شده است، حکایت می‌کند. پیش از برگزاری این مراسم «جشن‌ها و مهمانی‌هایی که با موسیقی و آواز و رقص همراه بود، اجرا می‌شد. در یکی از همین جشن‌ها، شعرهایی که بر روی لوحه‌های کوچکی نوشته شده بود، به وسیله



شکل ۷. صفحه سنگی که سرود آپولون بر آن نوشته شده است. در بالای متن، نشانه‌های نت مانند ثبت شده است. این بلندترین قطعه‌ای است که از یونان سده دوم پیش از میلاد به دست آمده است.

همسر برگزیده شاه، خوانده می شد.»

همه موسیقی شناسان با نشانه هایی که سومریان برای «نت های» موسیقی، در هزاره سوم پیش از میلاد، داشتند، آشنا هستند و احتمالاً همین نشانه ها از طرف کرامر برای بخش «نخستین ثبت موسیقی» مورد استفاده قرار گرفته باشد. ولی، نشانه هایی را که در یادگارهای خطی، چه از مصری ها و چه از سومری ها پیدا شده است، هنوز نمی توان با مفهومی که ما امروز از «نت» داریم، پیوند داد. این ها، تنها ردهای ترسیمی صداهای جداگانه هستند. این نشانه ها، هنوز نمی توانند تصویری زنده، از موسیقی ملت های باستانی به ما ببخشند. ما هنوز ملودی های آن ها را نمی شناسیم.

همسایگان سومری ها، یعنی فنیقی های باستان، این افتخار را دارند که خط صوتی «الفبا» را به وجود آوردند. بسیاری از ملت هایی که با سومری ها داد و ستد داشتند، با این خط ساده و راحت، آشنا شدند، آن را پذیرفتند و بر اساس آن، الفبای خاص خود را به وجود آوردند. یونانی های باستان نیز جزو این ملت ها بودند.

ما نمی دانیم که آیا فنیقی ها برای ثبت موسیقی، تلاشی داشته اند یا نه، ولی یونانی ها این کار را با موفقیت انجام دادند: اگر حرف می تواند صدای جداگانه کلام را بیان کند، پس حتماً می توان صداهای جداگانه موسیقی را هم، به وسیله حروف ثبت کرد.

پیدایش «نت نویسی» یونانیان را می توان در حدود سده هفتم پیش از میلاد دانست، «نت های» یونان باستان، از دو گروه «سازی» و «آوازی» تشکیل می شد و در گروه اول از حروف فنیقی و در گروه دوم از حروف یونانی استفاده می کردند.

تاکنون، نزدیک به يك دو جین خط موسیقی مربوط به یونان باستان، شناخته شده است. البته، این مقدار، در مقایسه با «نت های» دیگر کشور های آن زمان، زیاد است. ولی اگر این مقدار را با آنچه که گمان می رود در یونان باستان وجود داشته است مقایسه کنیم، بسیار ناچیز است: قسمت های کوتاه لطمه دیده ای از کر، سرودهای رسمی، نوشته های روی آرامگاه ها و یادداشت هایی شبیه به تمرین های موسیقی؛ این ها همه چیزهایی هستند که



تاکنون به دست ما رسیده است.

به نظر اهل فن، قدیمی‌ترین قطعه موجود، کری است از تراژدی «اورست»<sup>۱</sup>، اثر «اورپید»<sup>۲</sup>، که روی پاپیروس نوشته شده است و تاریخ ثبت آن را موبوط به سال ۴۰۸ پیش از میلاد می‌دانند. ملودی‌هایی که روی لوحه‌های سنگی حک شده‌اند، دارای ارزش زیادی هستند. این‌ها عبارتند از دو سرود برای «آپولون و یک نوشته روی آرامگاه سیکیل»<sup>۳</sup>. سرودها مربوط به سده دوم و نوشته روی آرامگاه مربوط به سده اول پیش از میلاد است. طولانی‌ترین قسمت ملودی‌های باقی‌مانده از یونان باستان را، که بر روی مرمرکنده شده است، سرود اول آپولون می‌نامند (صفحه سنگی، آسیب دیده و آغاز سرود از بین رفته است). نشانه‌های موسیقی در این سرود، بر بالای هجا‌های متن، قرار دارند.

اما نوشته‌های «نت‌دار» سنگی که شخصی به نام سیکیل، برای آرامگاه همسرش تهیه کرده است، معروف‌ترین یادگار خطی موسیقی است: «زندگی کن دوست من، غم چیزی را به دل راه نده، لحظه‌های شادی را دریاب...». سیکیل در این جمله‌ها، به رهگذر خطاب کرده است و در ضمن ملودی این ترانه کوچک را هم داده است.

رومی‌ها، خط موسیقی را از یونان به ارث بردند. با نابودی امپراطوری روم «نت‌نویسی» حرفی هم فراموش شد، تا این که در ابتدای سده‌های میانه، دوباره کاربرد محدودی در اروپای غربی و در بیزانس پیدا کرد. در پایان هزاره نخست بعد از میلاد، شکل دیگری از «نت‌نویسی» حرفی به وجود آمد که این بار بر اساس استفاده از الفبای لاتینی ساخته شده بود.

کشورهای مسلمان عرب زبان، هندی‌ها و بعضی دیگر از ملت‌های شرق نیز دارای «نت‌های» حرفی مستقل بوده‌اند، که نشانه‌های بعضی از آن‌ها تا به امروز هم باقی مانده است. به این ترتیب «نت‌نویسی» حرفی در

---

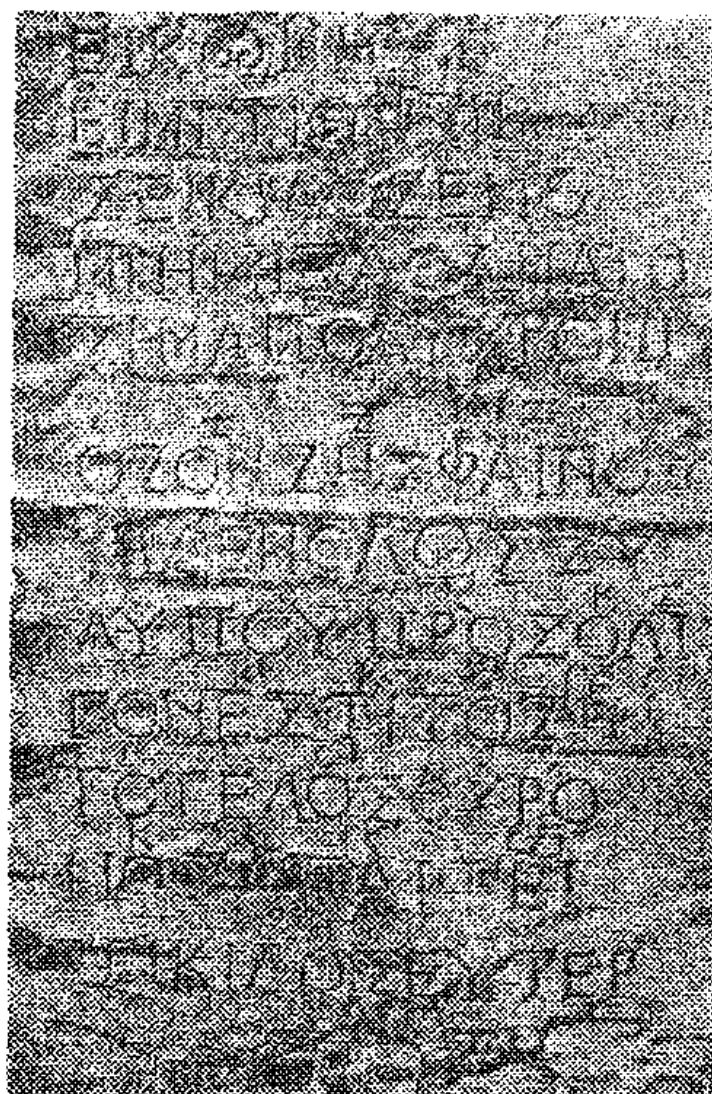
۱. oreste.

2. Euripide.

3. Saikaille.

طول سده‌های بسیار و در کشورهای گوناگون به وجود آمد و همه جا با سطح فرهنگ موسیقی موجود مطابقت داشته و کاملاً پاسخگوی زمان خود بوده است.

د. سادوکوف، نژادشناس شوروی می‌نویسد، «در برابر من قطعه بزرگی از يك قرايه سرامیکی خوارزم باستان قرار دارد، که در روی آن آثار شکل يك بدن و خط‌های مبهم سه گوشه، به سختی تشخیص داده می‌شود. این قطعه سرامیکی ۲۴۰۰ سال قدمت دارد. و تنها به کمک يك ذره بین بزرگ می‌توان یکی از جالب‌ترین صحنه‌های يك بزم شاهانه را در روی آن تشخیص داد. شاه خوارزم با قدحی در دست، به سه بالش پرنقش و نگار تکیه داده است. به نظر می‌آید که شاه، ضمن نوشیدن شراب، به آرامی صحبت می‌کند.



شکل ۸. کتیبه روی آرامگاه سیکیل (سده نخست پیش از میلاد).

پشت سر او، طرح سه گوش يك آلت بزرگ موسیقی به وضوح دیده می شود. پنجه نوازنده روی سیم قرار دارد. صحنه بزم شاهی، چنان به استادی مجسم شده است که انسان آشکارا همه به بزم و صدای شاه را می شنود و طنین ملایم ملودی های زیبا و افسانه ای به گوش می رسد. من با احتیاط و در حالی که می کوشم تا خیال هایم به هم نخورد، به آرامی تصویر آلت موسیقی را به طرف روشنایی می گیرم. بله، این يك جنگ بزرگ زاویه ای است که در جهان باستان بسیار متداول بوده است. جنگ، از نخستین سده های پیش از میلاد تا سده هجدهم بعد از میلاد، به فراوانی در آسیای میانه

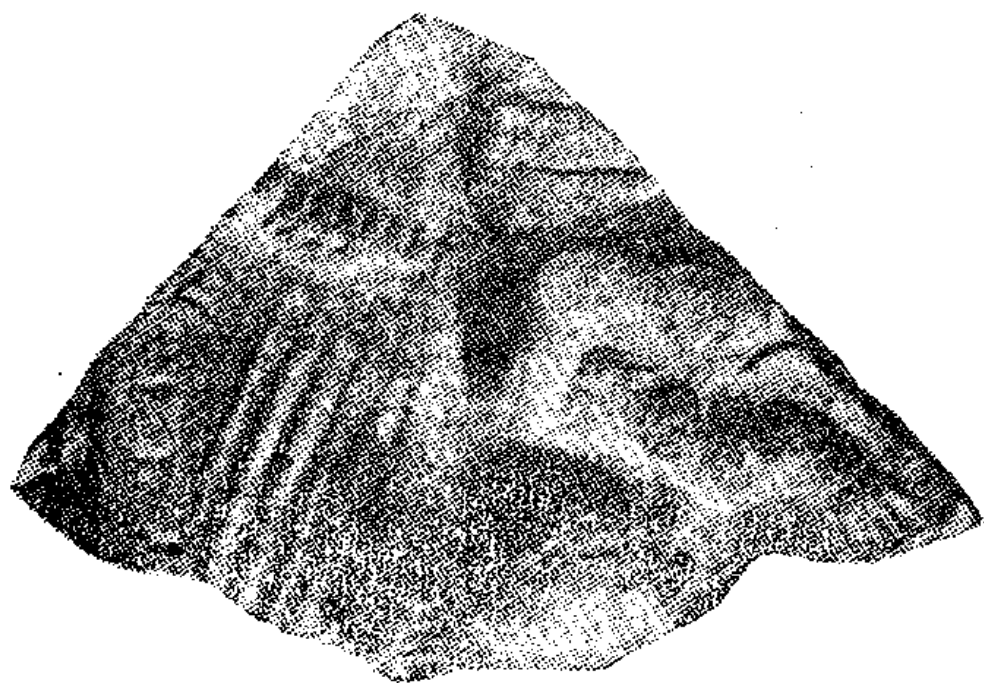


شکل ۹. مجسمه سنگی جنگ نواز (یونان - سده های دوم تا اول پیش از میلاد).

وجود داشته است. و اینک، تصویر يك چنگ زاویه‌ای بزرگ، از کم‌یاب‌ترین نوع آن، بر روی سفال پاره، اجازه داد تا تاریخ آغاز گسترش آلت‌های چنگی در آسیای میانه، معین شود: مدۀ چهارم تا سوم پیش از میلاد. ولی، چنگ، تاریخی بسیار کهن‌تر دارد.

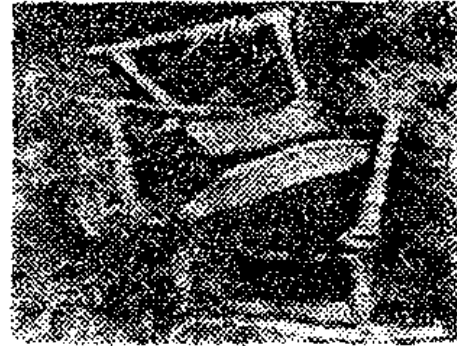
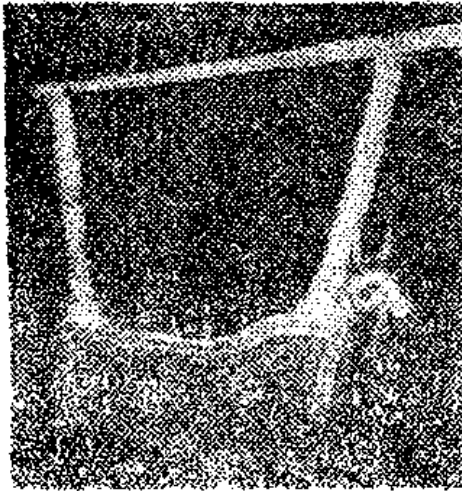
گلدان سومری مربوط به پایان هزارۀ چهارم و آغاز هزارۀ سوم پیش از میلاد، در شهر قدیمی «آداب» پیدا شده است، که بسیار جالب است. روی گلدان، دستۀ نوازندگان نقش شده است: در جلو دو چنگ نواز در حال نواختن چنگ‌هایی که شکلی پیچیده دارند، دیده می‌شود. یکی از چنگ‌ها هفت و دیگری پنج‌سیم دارد... و این قدیمی‌ترین تصویری است که از چنگ به دست آمده است.

در کاوش‌هایی که ل. وولی، باستان‌شناس انگلیسی، در سال‌های ۲۰-۳۰ سده بیستم در شهر «اور» بزرگ‌ترین شهر بین‌النهرین انجام داد، در آرامگاه سلطنتی شهر، از درون یکی از مقبره‌ها، که متعلق به سلطان «آبارگی» و ملکه «شوباد» بود، سه چنگ و از مقبرۀ دیگر، چهار چنگ پیدا کرد. قدمت هر دو مقبره، به هزارۀ سوم پیش از میلاد می‌رسد. دو تا از چنگ‌ها از نقره خالص بود. ل. وولی، یکی از چنگ‌های دیگر را این‌طور توصیف



شکل ۱۵. نقش چنگ (خوارزم - سده‌های چهارم تا سوم پیش از میلاد).

می‌کند: « در انتهای ردیف کناری [ردیف ده زن قربانی شده] ، باقی - مانده‌های شگفت‌انگیز يك چنگ دیده می‌شد. قسمت‌های چرمی آن پوشیده بود، لیکن زینت‌های آن باقی مانده بود... تیرك چوبی بالای چنگ با طلا پوشانده شده بود که به آن میخ‌های زرین کوبیده و سیم‌ها را به آن‌ها بسته بودند... در کنار باقی‌مانده چنگ، اسکات چنگ نواز با تاجی زرین آرمیده بود.»

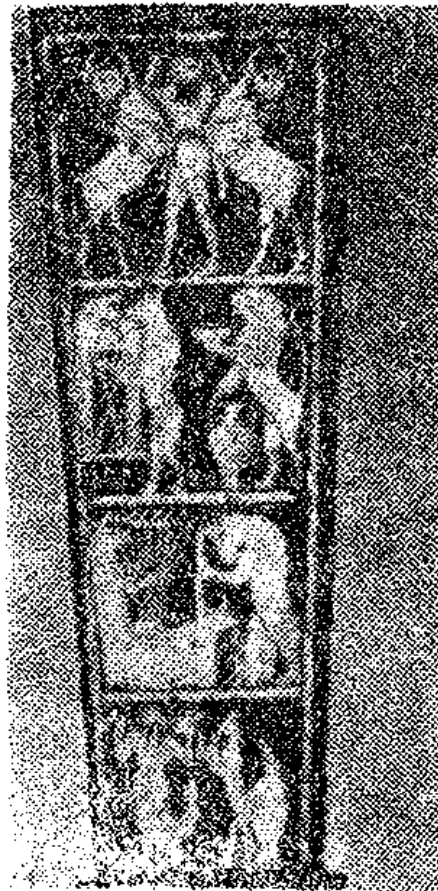


شکل ۱۱. چنگی از آرامگاه

شاه، پارسی

(اور - هزاره سوم پیش از میلاد).

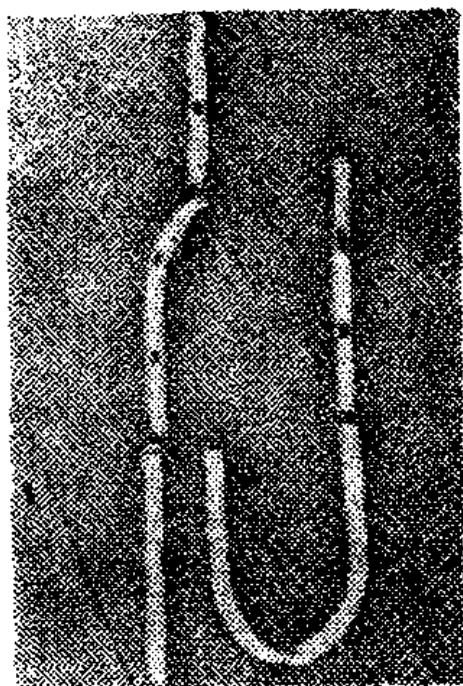
شکل ۱۲. همان چنگ بعد از بازسازی.



شکل ۱۳. زینت‌های صدفی چنگ.

از مصر باستان هم، تعداد زیادی سندها و تصاویرهای مربوط به موسیقی پیدا شده است. در این جاست که ما برای نخستین بار، با گروه‌های موسیقی، که اغلب از تعداد زیادی نوازنده، خواننده و رقصه تشکیل می‌شده است، برخورد می‌کنیم. چنگ زاویه‌ای در مصر باستان به تکامل نهایی خود می‌رسد. این چنگ در آغاز هزاره اول پیش از میلاد، چنان گسترش یافته بود که آن را به حق می‌توان يك ساز «همگانی» نامید. این ساز در قسمت عظیمی از کره زمین از اسپانیا تا کره شناخته شده بود. در آشور، فرمانده‌های نظامی پیروز را با يك ارکستر کامل، مرکب از چنگ‌های زاویه‌ای استقبال می‌کردند و در مجالس درباری آسیای میانه، ساز همیشگی، چه برای موسیقی گروهی و چه تک‌نوازی بود.

تصور ما از انسان گذشته‌های دور، تصویری نادرست است. وقتی که ما درباره آن‌ها می‌اندیشیم، در دل خود دچار هراس بسیار می‌شویم. تصویری را که از انسان نخستین در ذهن ما گذاشته‌اند، تصویری ناخوشایند است: پوست جانور درنده‌ای بر تن دارد، موهایش کثیف، ژولیده و بلند است، سنگ‌های بزرگ را پرتاب می‌کند و جانوران را از پا می‌اندازد، عاطفه و احساس ندارد، زیبایی را نمی‌شناسد. و این گمان‌های نادرست از این جاست که کم‌تر



شکل ۱۵. سرنای دو سمانه از داور.



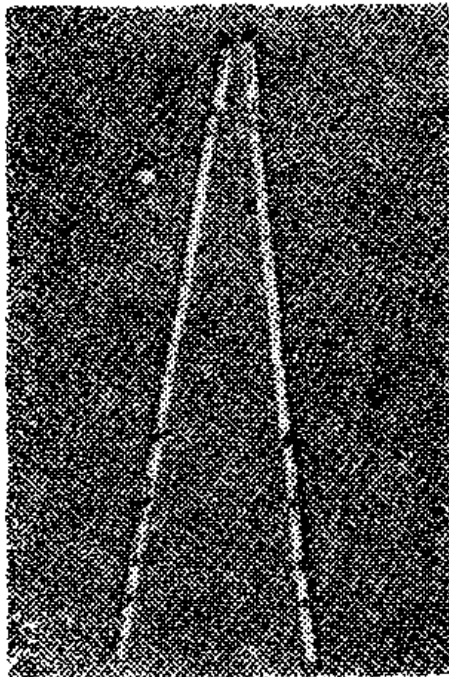
شکل ۱۴. يك آلت موسیقی ضربی از داور.



از طراحی‌های دقیقی که از این انسان، بر صخره‌ها باقی مانده است آگاهیم، به این علت است که تنها ویژه‌کاران می‌دانند که این انسان، در پرداخت سنگ‌ها چه ریزه‌کاری‌هایی کرده است، به این مناسبت است که ما نمی‌دانیم، همین انسان نخستین، موسیقی را دوست می‌داشته است و سازمان کاملی داشته است و آن‌هایی که از این چیزها آگاهند، تعدادشان بسیار کم است. انسان، حتی در دوره پارینه سنگی از آلت‌های بادی موسیقی استفاده می‌کرده است، از سنگ و استخوان، ساز می‌ساخته است و گاهی حتی از چوب، از شاخ جانوران و نی، فلوت درست می‌کرده است. فلوت‌هایی پیدا شده است که بین ۱۲ تا ۱۵ هزار سال پیش مورد استفاده انسان بوده است. و به هر حال باید به خاطر داشته باشیم که انسان در گذشته‌های دور، با همه دشواری‌هایی که داشته است، همیشه انسان بوده است.

### ۳. ریاضیات و موسیقی

روز نهم اوت سال ۱۹۵۶ در اوربانا<sup>۱</sup> از ایالت ایلینوی<sup>۲</sup> امریکا،



شکل ۱۶. همان سرنای دوگانه (اور)  
بعد از دوباره‌سازی.



شکل ۱۷. لیتوفون از «یوئون پیورد».

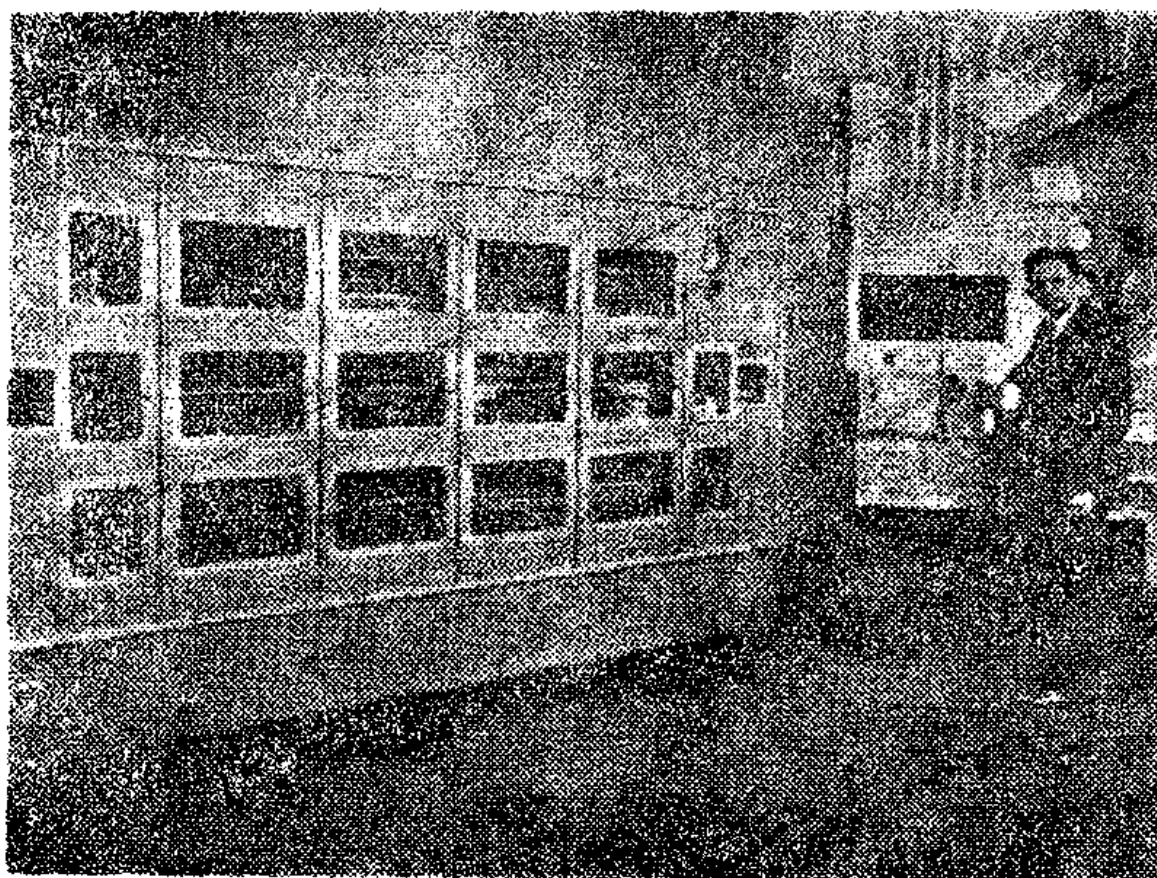
1. Urbana.

2. Illinois.

چهار موسیقی‌دان، يك كوارتت زهی را برای عموم اجرا کردند. آهنگ این موسیقی را انسان نساخته بود، بلکه به وسیله يك مغز الکترونیکی به نام ماشین ایلیاك<sup>۱</sup> پدید آمده بود.

عده‌ای تنها شگفت زده شدند و عده‌ای دیگر آن را پیروزی مسلم علم می‌دانستند، چرا که يك اثر هنری به وسیله يك دستگاه مکانیکی خلق شده بود.

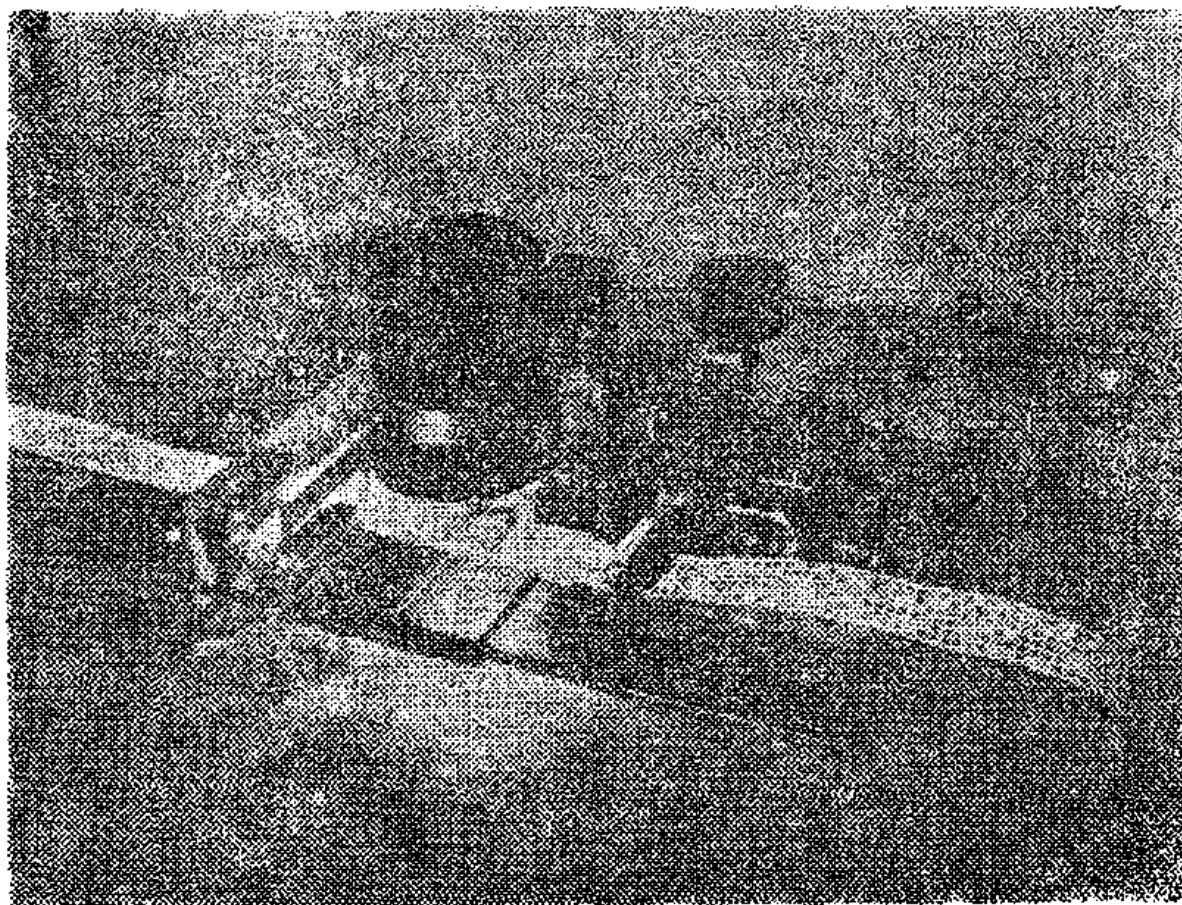
از طرف دیگر عده‌ای نسبت به این اثر هنری معترض بودند و می‌گفتند که این ماشین نیست که اثر هنری را ساخته است، بلکه این بشر است که برنامه کار ماشین را تنظیم کرده است. این تنها انسان است که توانسته است برنامه‌ای را که می‌بایست به ایلیاك داده شود، بشناسد. ضمناً اندیشه



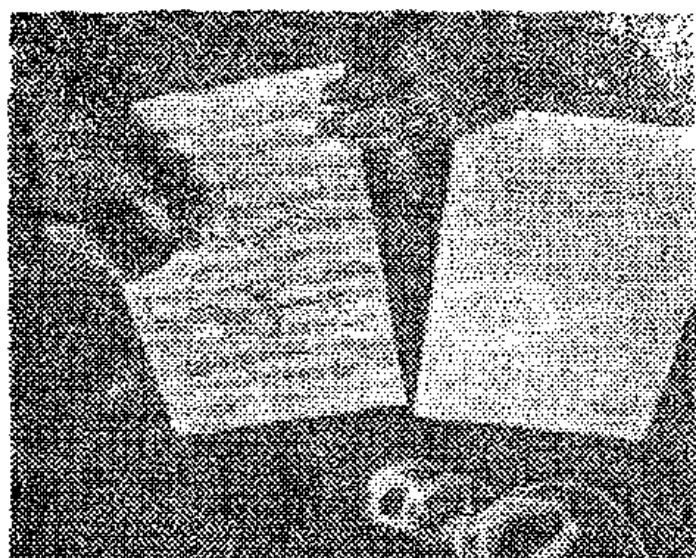
شکل ۱۸. «ایلیاك» - کامپیوتری که در دانشگاه ایلینوی برای ساختن آهنگ، مورد استفاده قرار گرفت. این کامپیوتر، صداها ملودی ساده و بعضی آهنگ‌های پیچیده‌تر را تصنیف کرده است.



انسان است که به این اثر، یک مفهوم موسیقی داده است. با همه این‌ها، این پرسش پیش می‌آید که آیا واقعاً اثر ایلیاک می‌تواند یک اثر موسیقی به حساب



شکل ۱۹. محصول کامپوتری را اول منگنه می‌کنند...



... سر آخر. آن‌ها را با دست به صورت نتهای حقیقی می‌نویسند. چه بسا که در آینده بتوان روشی به دست آورد که تبدیل «حرف‌ها و عددها» به صورت «نتهای» هم، به وسیله ماشین انجام شود.



... بعد به دستگاه نله تاپ می‌برند، تا به صورت صفحه‌ای شامل حرف‌ها و عددها درآید...

آید؟ در حالی که هیچ نوع هیجان و ایده‌آلی را بیان نمی‌کند، شاید تنها مجموعه‌ای از اصولی باشد که به‌طور صحیح ترکیب شده‌اند و در این صورت نمی‌توان به آن، به‌عنوان يك اثر هنری نگاه کرد.

بستگی موسیقی به فیزیک و ریاضیات از دیرباز شناخته شده است. حتی فارابی در فصل آخر «صحبت دوم» از کتاب «موسیقی الکبیر» خود، آن‌جا که از «نسبت‌های ساده» گفت‌وگو می‌کند، توضیح می‌دهد که برای ضرب و تقسیم نسبت‌هایی که متناظر با طول تارهاست باید فاصله‌های صوتی را با هم جمع و یا از هم کم کرد و در واقع، برای نخستین بار، جمع و تفریق فاصله‌ها را با اصول لگاریتم حل می‌کند.

در سال‌های اخیر «فیزیک موسیقی» چنان پیشرفت کرده‌است که می‌توان موسیقی را به «محاسبه» درآورد. فیزیک روشن می‌کند که چگونه موج‌های صوتی تشکیل و منتشر می‌شود، چگونه تارها به ارتعاش در می‌آید و چگونه طنین صوت‌ها به ساختمان پیچیده موجی مربوط می‌شود. قوانین کلی بسامد و شدت و دلیل اصلی گام‌های موسیقی شناخته شده است. ولی، صداشناسی، اصولاً مربوط به عامل‌های تجزیه شده موسیقی است و درباره این که چگونه ممکن است این عامل‌ها را در يك آهنگ ترکیب کرد. خیلی کم گفته شده است. در این جاست که ریاضیات به یاری گرفته می‌شود و ما هم در این مقاله می‌خواهیم همین جنبه کار را روشن کنیم.

### تجزیه و ترکیب ریاضی موسیقی

با طرح و حل دو مسأله اساسی، بستگی ریاضیات با موسیقی روشن می‌شود: تجزیه ریاضی و سپس ترکیب ریاضی موسیقی. محتوی این مسأله‌ها چیست؟ چه رابطه‌ای بین این دو مسأله، با آموزش غیر ریاضی موسیقی سنتی وجود دارد؟

تجزیه موسیقی، از نقطه نظر نغمه‌ها، هم‌آهنگی‌ها، وزن‌ها، شکل‌ها، و بالاخره سازمانی که در آن وجود دارد، همیشه یکی از جدی‌ترین مسأله‌ها، در بررسی دانش موسیقی بوده است. برای رسیدن به این هدف، می‌توان از شاخه‌های مختلف ریاضیات، مثل آمار، نظریه انفورمسیون و نظریه

گروه‌ها، استفاده کرد. تأکید می‌کنیم که تحلیل ریاضی موسیقی و تحلیل سنتی آثار موسیقی، به هیچ وجه یکدیگر را نفی نمی‌کنند. برعکس، برای تحلیل ریاضی موسیقی، همیشه تا حدی به تحلیل «غیر ریاضی» موسیقی نیاز داریم. نتیجه‌هایی هم که از راه تحلیل ریاضی موسیقی به دست می‌آید، به هیچ وجه متناقض با نتیجه‌های تحلیل سنتی موسیقی نیست، بلکه آن‌ها را دقیق‌تر می‌کند.

مسئله اساسی دیگری، که از مدت‌ها پیش، در برابر نظریه موسیقی قرار دارد، عبارتست از نقش آموزشی آن. آهنگ ساز آینده، برای این که نظریه موسیقی را بیاموزد، از یادگیری «نت‌ها» آغاز می‌کند، که برای آن باید درباره هم‌آهنگی‌ها و شکل‌های مختلف موسیقی و غیر آن، آموزش ببیند. موضوع تحلیل ریاضی موسیقی، کاملاً شبیه این مسئله است، «تنها» با این تفاوت که ساخته‌ها را باید ماشین یاد بگیرد، نه انسان. خواننده حدس می‌زند که واژه «تنها» را، در جمله قبل، به معنای طنزآمیز آن به کار برده‌ایم. اصل مطلب این است که انسان ماشین نیست (به طور دقیق‌تر باید گفت: ماشین‌های امروزی انسان نیستند).

آهنگ‌ساز آینده که دارای روحیه انسانی است، پیچیده‌ترین محصول ماده است. و به همین مناسبت است که می‌تواند «در طول سال‌ها» آگاهی‌ها و قانون‌ها را، حتی در حالتی که با هیچ دقتی منظم نشده باشند، فراگیرد. شاگرد، با استفاده از ذوق و سلیقه شخصی می‌تواند به ارزیابی بپردازد، خوب یا بد به موسیقی گوش کند، با وجودی که معمولاً، مطلقاً در پی این نیست که روشن کند از چه نشانه‌ها و یا معیارهایی استفاده کرده است. بالاخره، باید گفت که در تخیلات او، سرچشمه پایان ناپذیری از اندیشه‌های تازه موسیقی وجود دارد. در واقع هم، هیچ تعجبی ندارد که از چنین ماده با شکوهی، آهنگ‌ساز به وجود آید. حال بیاییم و یک آهنگ‌ساز از شمارگر الکترونی بسازیم، ماشینی که البته این قدرت را دارد که هر چیزی را «بیاموزد»، ولی خودش، هیچ چیز نمی‌داند. حتی ابتدایی‌ترین چیزها را باید با دقت و به تفصیل، به اطلاع ماشین رساند، هیچ چیز برای آن، به خودی خود روشن و قابل درک نیست؛ هیچ ذوق و سلیقه‌ای از خودش

ندارد، زیرا هیچ گونه تجربه موسیقی ندارد. با همه این ها، کار با ماشین، اجتناب ناپذیر به نظر می رسد. این چاره ناپذیری کار با ماشین، از کجاست؟ بعد از آنچه که گفتیم، طبعاً باید پرسشی برای خواننده پیش آید: اصلاً چرا کوشش می شود با به کار گرفتن ماشین «نان آهنگ سازان را آجر کنند». به نظر می رسد که این کار ممکن نیست. ضمن این که لازم هم نیست، به این پرسش با روشنی تمام پاسخ می دهیم: هیچ کس خیال ندارد به یاری «موسیقی ماشینی»، آهنگ سازان را بی کار کند. هدف آزمایش های جدی که روی آثار ماشینی انجام می شود، چیز دیگری است و دشواری هایی که در بالا از آن ها یاد کردیم، نه تنها این هدف را از بین نمی برد، بلکه جالب بودن آن را بیش تر می کند و ما درباره این مطلب، کمی بعد تر، گفت و گو خواهیم کرد. حالا، بدون این که بیش از این به تردیدها و ابهام هایی که در مفهوم «تجزیه» وجود دارد فرو رویم، کمی مفصل تر، به موضوع مربوط به ترکیب ریاضی موسیقی می پردازیم.

ولی، پیش از همه، باید به موقعیتی توجه کنیم که غیر متخصصین اغلب آن را فراموش می کنند. در مسأله ما، گفت و گو از این نیست که ماشینی را طرح بریزیم که امکان کمک به آثار موسیقی را داشته باشد و نوع آن تا امروز برای ما ناشناخته است. چنین ماشین هایی ساخته شده است و هزاران نمونه از آن ها وجود دارد. در واقع هر کامپیوتر عمومی، برای این منظور مناسب است. همه مطلب این است که ردیف دستورها را چگونه تنظیم کنیم، به زبان دیگر، برنامه ریزی را چگونه انجام دهیم که بنابر آن، ماشین از عهده تنظیم موسیقی برآید. به این ترتیب، عبارتهای «ماشین می تواند» و «ماشین نمی تواند» را باید به معنای «برنامه می تواند» و «برنامه نمی تواند» گرفت. ولی، برنامه را انسان می ریزد نه ماشین و بنابراین، موفقیت یا عدم موفقیت ماشین، سر آخر به انسان مربوط می شود. با همه این ها، خواننده نباید گمان کند که برنامه ریز، ملودی های مختلف را در ماشین قرار می دهد و سپس، ماشین را وامی دارد تا این ملودی ها را «تألیف کند». در واقع، خود برنامه ریز هم نمی داند که ماشین چه چیزی را تألیف می کند. پرسش اصلی این است که روند کار در این مورد چگونه است؟ و

چگونه می‌توان دشواری‌های موجود را از سر راه برداشت؟

### قانون‌های دقیق و غیردقیق

ابتدا، به قاعده‌های دقیق و قاطعی می‌پردازیم که هر آهنگ‌سازی باید به آن‌ها توجه داشته باشد. دادن این قانون‌ها به ماشین، کار سخت و پر زحمتی است، با وجود این، هیچ‌گونه دشواری اصولی در مورد آن وجود ندارد. ضمن آزمایش معلوم می‌شود که چنین قانون‌هایی در موسیقی، خیلی کم‌تر از آن است که معمولاً گمان می‌رود. بنابراین داخل کردن این قانون‌ها به برنامه، به هیچ وجه، مسأله را حل نمی‌کند. احتمالاً تنها استثنای نسبی در این مفهوم، وجود موقعیت‌های خاص باشد. به عنوان نمونه، می‌توان از به اصطلاح «سبک دقیق» نام برد که ویژگی موسیقی چندصدائی (و در بیش‌تر موارد آوازخوانی) دوران رنسانس را مشخص می‌کند. این، قدیمی‌ترین موسیقی است که به ندرت می‌توان در کنسرت‌ها به آن برخورد کرد. نمونه دوم را می‌توان از سده بیستم انتخاب کرد و آن موسیقی دوازده صدایی<sup>۱</sup> در اجرای مستمر آن است. با توجه به این دو سبک، تا حد زیادی می‌توان نقش قانون‌های دقیق را در توصیف موسیقی روشن کرد. چنین روند تألیفی را در موسیقی می‌توان به سادگی برنامه‌ریزی کرد. شاید، به همین دلیل باشد که سویت «ایلیاک» برای کوارتت (ارکستر چهار نفری) سازهای سیمی، که به وسیله کامپیوتر دانشگاه ایلینوی تنظیم شده است، از «سبک دقیق» دوران رنسانس آغاز می‌کند و با موسیقی دوازده صدائی پایان می‌پذیرد هیچ «راه میانه‌ای» وجود ندارد. با وجود این، برای قسمت عمده موسیقی،

---

۱- موسیقی دوازده صدایی (Dodecaphonic music) - از ریشه یونانی Dodeka به معنی دوازده و phoné به معنی صدا) در نتیجه روند تکاملی موسیقی بدون کلید (Atonality) به وجود آمد و به طور اساسی به وسیله ارنولد شنبرگ (Arnold schoanberg) (۱۸۷۴ - ۱۹۵۱) و در سال‌های بین ۱۹۲۱ تا ۱۹۲۳ پایه‌گذاری شد (schenberg's serenade Opus, 23). این موسیقی، در موقع خود، مورد توجه بسیار جوانان قرار گرفت. ولی با وجود گذشت زمان، هنوز نتوانسته است جای خود را در موسیقی عام پیدا کند.

و مثلاً آنچه را که ما از رادیو یا نوار گوش می‌کنیم، به‌همین «راه میانه» و به اصطلاح «موسیقی تن‌دار» بستگی پیدا می‌کند. موسیقی باخ<sup>۱</sup> (۱۶۸۵-۱۷۵۰)، هایدن<sup>۲</sup> (۱۷۳۲-۱۸۰۹)، موتسارت<sup>۳</sup> (۱۷۵۶-۱۷۹۱)، بتهوون<sup>۴</sup> (۱۷۷۰-۱۸۲۷)، شوبرت<sup>۵</sup> (۱۷۹۷-۱۸۲۸)، گلینکا<sup>۶</sup> (۱۸۵۴-۱۸۵۷)، چایکوسکی<sup>۷</sup> (۱۸۴۰-۱۸۹۳)، راخمانینوف<sup>۸</sup> (۱۸۷۳-۱۹۴۳)، سکریابین<sup>۹</sup> (۱۸۷۲-۱۹۱۵) و پروکوفیو<sup>۱۰</sup> (۱۸۹۱-۱۹۵۳)، همه تن‌دار بود. اکثریت موسیقی‌دانان معاصر هم، موسیقی تن‌دار می‌نویسند. ولی اثر موسیقی تن‌دار، خیلی دشوارتر تسلیم برنامه‌ریزی می‌شود. د.ژادپیوف، ریاضی‌دان شوروی (در مسکو)، تلاش‌های منظمی را در این جهت آغاز کرده است. کارهایی از بوخاده‌یو، دینوینسکی و شادونوف هم در غازان چاپ شده است. آزمایش‌های ریاضی‌دانان ریکاهم، به‌همین امر مربوط می‌شود. دشواری به قانون درآوردن و آلفگوریتمی کردن آثار موسیقی تن‌دار، در کجاست؟ موضوع این است که قانون‌های موسیقی تن‌دار، در بیش‌تر موارد خود، دستورهایی قطعی نیستند و تنها می‌توان آن‌ها را به عنوان توصیه‌هایی در نظر گرفت. مثلاً، چه در آهنگ‌ها و چه در وزن‌ها، تمایل به مرحله اصلی و اولیه کوك وجود دارد. این وضع، دست کم، به این صورت ظاهر می‌شود که در بسیاری موارد، آهنگ‌ها در پایان خود به همان مرحله نخست خود می‌رسند. ولی، این قانون را خیلی‌ها رعایت نمی‌کنند، به نحوی که حتی نمی‌توان از آن به عنوان يك قانون به مفهوم واقعی کلمه - نام برد؛ باید آن را به عنوان يك گرایش جدی (و نه قطعی) به حساب آورد.

چنین گرایش‌هایی در موسیقی تن‌دار، به فراوانی دیده می‌شود و این بستگی به تجربه‌های قبلی آهنگ‌ساز دارد که با يك نوع احساس الهامی با این گرایش‌ها روبه‌رو می‌شود، در يك مورد مشخص، ترجیح می‌دهد جهتی را برای پیشرفت موسیقی انتخاب کند و بسیاری از توصیه‌ها را کنار می‌گذارد و در موقعیت دیگری، برعکس عمل می‌کند. آیا می‌توان از ماشین،

- 
- |                 |             |                |              |
|-----------------|-------------|----------------|--------------|
| 1. Bach         | 2. Haydn    | 3. Mozart      | 4. Beethoven |
| 5. Schubert     | 6. Glinka   | 7. Tchaikovsky |              |
| 8. Rachmaninoff | 9. Scriabin | 10. Prokofiev  |              |

چیزی شبیه این الهام اشراقی به دست آورد؟

حالا، حل این مسأله را کنار می گذاریم و به مسأله تخیل می پردازیم که برای خلق هر اثر هنری، نقش اساسی دارد. خواهیم دید که این هر دو مسأله، با يك روش حل خواهند شد.



شکل ۲۵. در این جا، آهنگی که به وسیله «ایلیاک» ساخته شده (بالا) با آهنگی که به وسیله «Palestrina» به نام «Adoramus Tee Christe» و با همان روش، ساخته شده است (پایین)، می توان مقایسه کرد.



مقوله‌های کلی فلسفی، به ضرورت و به تصادف، در هر نوعی از هنر ظاهر می‌شوند. اثر هنری وجود ندارد که از نوعی قانون‌مندی و نوعی قاعده که «روش‌های مجاز» آن را مشخص می‌کند، پیروی نکند. با وجود این، اگر نیروی تخیل هنرمند اصالت و تازگی نداشته باشد، و نتواند عنصرهای عادی و طبیعی را با عامل‌هایی که غیر منتظره‌اند، توأم کند، اثر هنری امکان زندگی پیدا نمی‌کند و می‌میرد. بسیار ممکن است که خود هنرمند، از قانون‌هایی که نیروی تخیلش از آن‌ها پیروی می‌کند، آگاه نباشد؛ او حتی نمی‌تواند از پیش حدس بزند که تخیلش در لحظه‌های بعد، به کجاها خواهد رفت. به این مناسبت، مسأله اصلی این است که نیرو و کار تخیل را، نه به صورت جبری و جزمی، بلکه به صورت روندی تصادفی باید به حساب آورد. و روشن است که همه این‌ها، در مورد موسیقی هم درست است.

پس، این ماشین محاسبه بی‌نوا، از کجا می‌تواند نیروی تخیل را فراهم کند؟ مگر نه اینست که تمامی تلاش طراحان ماشین در اینست که ماشین، از هرگونه بوالهوسی به‌دور باشد و متین و استوار و دقیق، برنامه را بپذیرد و مو به مو آن را اجرا کند. اصولاً کار ماشین برای ما، تجسم و نمونه‌ای است، از کار دقیق و بدون خدشه.

در واقع هم، وضع به همین شکل است، البته به شرطی که اشتباه‌های نامطلوب را هم در کار ماشین در نظر داشته باشیم. با وجود این، حتی در مورد انجام دستورهای ریاضی هم، گاهی به عمد، ماشین را وادار می‌کنند که به طور تصادفی و به صورتی که از قبل پیش‌بینی نشده است، کار کند. البته، این وضع، مربوط به موقعیت‌هایی است که برنامه‌ریز بخواهد. روش مونت کادلو هم، در ریاضیات امروزی، به همین طریق عمل می‌کند و شایستگی خود را هم، در بسیاری از مسأله‌های محاسبه‌ای نشان داده است. به مناسبت این وضع، روش‌هایی ابداع شده است که به ماشین اجازه می‌دهد، عددهایی را - مثلاً عددهای بین صفر و واحد را - به طور تصادفی انتخاب کند.



به این ترتیب، می‌توان با وارد کردن تصادف در کار ماشین، به نحوی تخیل هنرمند را تقلید کرد. با همه این‌ها، این تخیل نباید کورکورانه باشد. وقتی که آهنگ‌ساز به تألیف ملودی خود مشغول است، نت‌ها را با حدس و گمان بر نمی‌دارد، بلکه بعضی صداها را به کرات و بعضی دیگر را به ندرت انتخاب می‌کند، بارها و بارها روی ملودی کار می‌کند و آن را تغییر می‌دهد تا مسیر هموار آن را پیدا کند و غیره. و حقیقت این است که برای ماشین هم، چنین روش توجیه شده‌ای قابل دسترس است. این مطلب را روی نمونه بسیار ساده‌ای روشن می‌کنیم.

فرض کنیم که ماشین باید با انتخاب طول نت‌ها، شکلی موزون (ریتمیک) بسازد. فرض کنیم که خصلت موسیقی این باشد که يك هشتم‌ها بر يك چهارم‌ها برتری داشته باشد و مثلاً، به طور متوسط، سه بار بیش‌تر. به این نتیجه می‌توان به كمك عددهای تصادفی، رسید. روش کار را به این ترتیب در نظر می‌گیریم: شرط می‌کنیم که وقتی ماشین کسری را بین ۰ و ۷۵/۰ انتخاب کند به معنای يك هشتم و وقتی کسری را بین ۷۵/۰ تا ۱ انتخاب کند، به معنای يك چهارم باشد. حالا فرض کنید که کسر تصادفی برابر ۳۱/۰ باشد. این پیش‌آمد را می‌توان به عنوان «رفتار الهامی» اولیه در نظر گرفت، که در نتیجه آن، نتی به طول يك هشتم نوشته می‌شود. عدد ۷۶/۰ هم، به معنای انتخاب يك چهارم است و غیره. روشن است که به طور متوسط، يك هشتم‌ها سه بار بیش‌تر از يك چهارم‌ها به دست می‌آید، ولی ضمناً هر نت جداگانه را از قبل نمی‌توان پیش‌بینی کرد، و به «الهام ماشین» یعنی به مقدار تصادفی کسری که از قبل قابل پیش‌بینی نیست، مربوط می‌شود.

از همین روش می‌توان برای انتخاب ارتفاع نت‌ها (و یا برای فاصله‌های متوالی که ملودی از آن‌ها ساخته می‌شود)، برای ترکیب آهنگ‌ها، برای حل مسأله مربوط به شکل اثر و غیر آن هم استفاده کرد.

توزیع احتمالی که برای ماشین معین می‌کنیم، بستگی به خصلت کلی موسیقی ترکیب شده دارد. ولی در عین حال هرگز نمی‌توانیم به طور دقیق، «قطعه» بعدی ماشین را از قبل بزنیم؛ عنصرهای نا منتظر، در این جا به

همان اندازه‌ای که برای انسان آهنگ‌ساز وجود دارد، ظاهر می‌شود. پرسشی داشتیم که تا این‌جا بدون پاسخ مانده بود: چگونه می‌توان به کمک ریاضیات ترکیب موسیقی را بر اساس تجربه‌های قبلی آهنگ‌ساز و بر اساس ذوق او (یعنی این که در بیان مطلب، روشی را به روش دیگر، ترجیح می‌دهد)، تنظیم کرد؟ این مسأله هم به کمک انتخاب متناظر احتمال‌ها، حل می‌شود. نقش قانون‌های توصیه‌مانند را هم به همین ترتیب می‌توان در روند ترکیب وارد کرد: ماشین قرعه می‌اندازد و بسته به نتیجه کار، تصمیم می‌گیرد که آیا در این حالت مشخص، باید به فلان توصیه عمل کند یا نه.

به این ترتیب، «آهنگ‌ساز خودکار» این امکان بالقوه را دارد که صاحب تخیل بشود؛ او یاد می‌گیرد تا از احتمال‌ها، نه تنها از احتمال‌های کور، بلکه حتی از احتمال‌های توجیه شده هم به یاری انتخاب‌های مناسب، استفاده کند.

ضمناً این اعتراض هم درباره «ماشین‌های آهنگ‌ساز» برطرف می‌شود که: نتیجه کار این ماشین‌ها، یا اثری بی‌روح، جامد و غیر جالب است، زیرا «کاملاً» طبق قانون‌های مشخصی تنظیم شده‌اند و بنابراین فاقد اصالت و تازگی هستند؛ و یا به صورت غیر قابل تصویری در هم و بر هم می‌شوند، زیرا تنها از طریق احتمال‌های کور و توجیه نشده‌ای به دست آمده‌اند.

### دشواری‌های تازه‌ای پیش می‌آید

ولی امکان بالقوه برنامه‌های ترکیبی، به این معنا نیست که چنین برنامه‌ای (که پاسخگوی همه خواست‌های ماست)، امروز و شاید فردا، در دسترس ما قرار دارد. در عمل برای تنظیم برنامه باید: اولاً بر قانون‌هایی آشنایی داشت که باید به طور قطع و کامل مورد استفاده قرار گیرد، ثانیاً عامل‌هایی را نشان کرد که باید به تصادف انتخاب شوند، ثالثاً باید توزیع احتمال‌ها را برای این عامل‌ها معلوم کرد. به جز این‌ها، باید خود آلفگوریتیم ترکیب هم مشخص شود، یعنی باید معلوم شود که از نظر

اهمیت، پارامترهای لازم را به چه ردیفی باید انتخاب کرد؛ و این موضوع، اهمیت اساسی دارد، زیرا احتمال انتخاب يك عامل، ممکن است به انتخاب عامل دیگری مربوط باشد.

حل این مسئله‌ها، دشواری‌های غیر عادی و تازه‌ای را در برابر نظریه موسیقی قرار می‌دهد. دانش موسیقی سنتی، معمولاً، پاسخی برای این پرسش‌ها ندارد. و حقیقت این است که طرح این مسأله‌ها، مربوط به ترکیب ماشینی موسیقی است و برای حل آن‌ها لازم است هم از نتیجه‌های دانش موسیقی سنتی، و هم از روش‌های تحلیل ریاضی موسیقی استفاده کرد. موضوع را به یاری يك مثال روشن می‌کنیم.

در موسیقی آهنگین، یکی از طریقه‌های کاملاً معمول برای ساختن ملودی‌ها، روی تکرار است، مثل تکرار آهنگ یا مقامی با حرکت معلوم به طرف بالا و پایین. آ. هازل، موسیقی شناس شوروی در اثر خود به نام «درباره ملودی‌ها»، اندیشه‌های جالبی در این باره که چگونه تکرارهایی، به عنوان خصیات موسیقی این یا آن سبك وجود دارد، بیان می‌کند. از طرف دیگر تحلیل خالص آماری و کمیتی تکرارها، به وسیله ت. کادلینا و د. دتلوس، دانشمندان ریاضی - فیزیک، تهیه شده است. پیش درآمدها و دنباله خوانی‌های باخ، سمفونی‌های هایدن و اثرهای چایکوفسکی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. با نتیجه‌هایی که از این راه به دست می‌آید می‌توان تئزهای دانش موسیقی سنتی را دقیق‌تر کرد. علاوه بر آن، از این نتیجه - گیری‌ها می‌توان در ترکیب موسیقی استفاده کرد. به این ترتیب، تحلیل ریاضی موسیقی، آگاهی‌هایی را به ما می‌دهد که برای ترکیب موسیقی لازم است.

ولی بر عکس - نتیجه‌گیری‌هایی هم که از ترکیب به دست می‌آید اجازه می‌دهد تا در باره عمق و پیشرفت تجزیه موسیقی، داوری کنیم و ضمناً بعد از قرن‌ها تاریخ علم در باره موسیقی، بتوانیم نتیجه کارهای موسیقی‌شناسان را به محك آزمایش بزنیم؛ و سپس، با برطرف کردن نواقص آن‌ها، بهترین برنامه ترکیب را پیدا کنیم و غیره.

همان‌طور که گفته شد، ضمن تشکیل آلفوریتیم ترکیب، باید پیشرفت‌ها

و موفقیت‌های دانش‌سنتی موسیقی، و از آن جمله روانشناسی اثرهای موسیقی، هم مورد توجه قرار گیرد. گمان می‌رود که دشواری‌های ترکیب موسیقی، نیروی محرکه محسوسی از درون موسیقی، برای پیشرفت بعدی این دانش باشد. ماشین، دست کم به مفهوم نتیجه، کار آهنگ ساز را مدل بندی می‌کند. موفقیت یا عدم موفقیت مدل‌ها، امکان می‌دهد تا در باره روش‌هایی که در اساس ساختمان مدل‌ها قرار دارد، مورد ارزیابی قرار گیرد. اگر این روش‌ها همراه با موفقیت باشند، می‌توان امید داشت که بین آن‌ها با روندی که در روحیه آهنگ ساز اثر می‌گذارد، نوعی بستگی وجود داشته باشد. این واقعیت که هنوز چیز زیادی درباره «وضعیت روحی» و کار آن نمی‌دانیم، نباید ما را از آزمایش‌های مربوط به ترکیب موسیقی باز دارد. برعکس، موفقیت‌هایی که به تدریج درمسأله ترکیب به دست می‌آید، ممکن است زمینه را برای بررسی اوضاع و احوال روحی - و یا دقیق‌تر تکامل روانشناسی - آثار هنری آماده کند.

### دیکته موسیقی برای ماشین

حال، مختصری هم در این باره گفتگو می‌کنیم که چگونه نت‌های معمولی را می‌توان به «زبان ماشین» درآورد.

دستگاه حافظه ماشین محاسبه به چشم‌ها یا حوزه‌های جداگانه‌ای تقسیم شده است. در يك حوزه می‌توان يا يك عدد و يا يك فرمان را ثبت کرد. معمولاً برای نوشتن يك نت هم، یکی از همین حوزه‌های حافظه مورد استفاده قرار می‌گیرد. حوزه شامل چند ده تا از مرتبه‌های دو دویی (عدد نویسی در مبنای ۲) است و بنابراین چه آگاهی مربوط به ارتفاع نت و چه طول آن را می‌توان در آن جا داد.

ارتفاع را می‌توان به كمك شماره اکتاوها (و مثلاً، با در نظر گرفتن از پایین‌ترین اکتاو) و نام نت‌ها را با قرار گذاشتن عددهایی برای هر يك از آن‌ها (دو = ۱، ر = ۲، ...، سی = ۷) نشان داد. در صورت لزوم، برای بالا بردن (دیز) یا پایین آوردن (بمل) صداها هم می‌توان عددهایی در نظر گرفت.

برای نشان دادن طول، کوتاه‌ترین نت مجاز را متناظر با واحد می‌گیریم. مثلاً، اگر يك شانزدهم را به عنوان واحد بپذیریم، در این صورت، طول يك هشتم متناظر با عدد ۲ می‌شود.

در چشم حافظه، به جز ارتفاع و طول، بعضی «مفروضات عددی» دیگر هم، مثل شماره جاری نت در ملودی، شماره ضرب و غیر آن هم نوشته می‌شود. همچنین به کمک نشانه‌های خاصی، می‌توان مشخص کرد که طول یادداشت شده، مربوط به مکث است نه نت.

ترجمه چنین کدهای عددی، که به وسیله ماشین چاپ شده است، به زبان نت‌های معمولی، به هیچ وجه کار پیچیده‌ای نیست. چنین کاری نه تخصص در ریاضی را لازم دارد و نه مهارت در موسیقی را.

### ملودی یا هم‌آهنگی کدام يك قبلاً ساخته می‌شود؟

وقتی که در ذهن آهنگ ساز، زمینه تازه‌ای پیدا می‌شود، اغلب نمی‌تواند به این پرسش پاسخ دهد که آیا اول ملودی به وجود آمده است یا هم‌آهنگی! و خیلی دشوار است گفته شود که آیا آهنگ ساز از قبل تصمیم می‌گیرد که نت بعدی با کدام ارتفاع است، و آیا از قبل طول نت‌ها را انتخاب می‌کند؟ يك موسیقی‌دان، احتمالاً، چنین پرسشی را بی‌معنی و احمقانه می‌داند. پیدایش و ظهور يك فکر موسیقی، معمولاً يك روند پیوسته است و به سختی می‌توان آن را به مرحله‌های مختلف تقسیم کرد. حتی، تقسیم موسیقی به سازهای مختلف و یا تنظیم گروه ارکستر، در بسیاری موارد، هم‌زمان با به وجود آمدن خود متن موسیقی انجام می‌گیرد. چایکوفسکی، به بهانه سمفونی چهارم خودش می‌نویسد: «من هرگز چیزی به طور مجرد نساخته‌ام، یعنی برای من، اندیشه موسیقی، هرگز چیزی جدا از شکل متناظر خارجی آن نبوده است. به این ترتیب، برای من، اندیشه موسیقی با تنظیم آن برای ارکستر، در يك زمان، پیدا می‌شود».

ولی، در ماشین، موقعیت دیگری وجود دارد.

ماشین، عناصرهای مختلف موسیقی را تنها به صورت يك توالی کاملاً منطقی تألیف می‌کند. پرسشی پیش می‌آید: این توالی منطقی چگونه باید باشد؟ ظاهراً پاسخ یکنواخت و عمومی برای این پرسش، وجود ندارد. در

موقعیتی، اندیشه آغازی مربوط به شکل ملودی است و در موقعیت دیگر، مربوط به پیدا کردن ریتم و غیره.

موضوع از این بابت هم پیچیده تر می شود که عنصرهای متفاوت و جنبه های متفاوت موسیقی، بی ارتباط به یکدیگر نیستند. این عنصرها و جنبه ها در یکدیگر فرو می روند و یکی بر دیگری اثر می گذارد، ضمناً نوع این تأثیر متقابل در حالت های متفاوت با یکدیگر فرق دارد و به هدفی که آهنگ ساز دنبال می کند، مربوط می شود. وقتی که موسیقی، به وسیله انسان به وجود می آید، این تأثیر متقابل، تا حد زیادی ناخود آگاه و به صورت الهام انجام می گیرد. ولی، در مورد ماشین، باید به صورت قانون، به روشنی معلوم کنیم که بین چه عامل هایی باید این تأثیر متقابل وجود داشته باشد، و کم و بیش، خصلت این تأثیرها را، دقیق کنیم.

برای تألیف موسیقی کلاسیک (مثلاً آثار پیانوئی هایدن، موتسارت و بتهوون) نقش اصلی را، توالی آهنگ ها و هم آهنگی آن ها به عهده دارد. در این جا، هماهنگی حتی می تواند، عنصر پایه ای و اولیه ای به حساب آید که براساس آن، ملودی به عنوان يك عنصر رو بنایی که ناشی از این پایه و موافق با آن است، به وجود آمده است. ولی این، ظاهراً به معنای وجود يك موقعیت معمائی است: آکومپانیمان و همراهی، پیش از ملودی تألیف می شود. ولی، تاریخ موسیقی، نمونه جالبی را ارائه می دهد، که ضمناً فاصله بین دو مرحله آن، بیش از صد سال است. منظور ما، اثر «آوده ماریا» از باخ - هونو است، که آکومپانیمان آن را، باخ در سال ۱۷۲۲ تألیف کرد و هونو، آهنگ ساز فرانسوی، در سده نوزدهم، بدون این که هیچ گونه تغییری در پیش درآمد باخ بدهد، ملودی آن را نوشت.

### نخستین «آثار» کامپیوتری

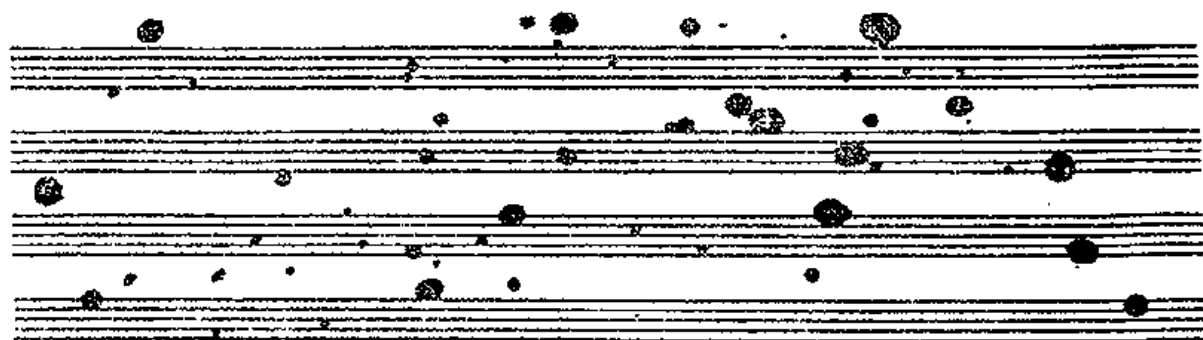
نخستین گام های مربوط به آهنگ سازی را کامپیوتر مرکز ریگا در دانشگاه دولتی لتونی به نام پترستوچکا، خیلی با احتیاط و لرزان برداشت. او، ملودی های هشت ضربی يك صدایی را به شکل به اصطلاح دوره ای، شامل دو نیمه، تنظیم کرد. در این حالت، توالی «ترکیب» عنصرهای جدا گانه

چگونه بوده است؟

قبل از همه، توالی آکوردها مایخته شده است (با محاسبه يك آكورد در ضرب). آکوردها، ولو این که نتیجه‌ای از کار ماشین باشد، باید به صورت ملودی تك صدایی و بدون آکومپانیمان باشد. آکورد، حتی اگر در صحنه هم ظاهر شود، چیزی جز يك رهبر نامرئی ملودی نیست.

برای انتخاب هر آکورد، این وضع در نظر گرفته می‌شود که چه آکوردی در ضرب قبلی واقع شده است. مثلاً، آکورد مرحله پنجم، به احتمال قوی بعد از آکورد مرحله دوم می‌آید و نه آکورد مرحله اول. به این ترتیب، نوعی عمل متقابل در داخل يك عنصر موسیقی (و مثلاً در این جا هارمونی) مورد تحلیل قرار می‌گیرد.

سپس، ماشین برای هر جمله‌ای، شکل ریتمیک به خود می‌گیرد. سرآخر، خط ملودیک را به دست می‌آورد. ماشین، درحالی که جهت



شکل ۴۱. موسیقی تصادفی - می‌توان با پاشیدن جوهر روی صفحه سفید يك کاغذ موسیقی، آهنگی را تصنیف کرد. در تصویر پایین، لکه‌ها را به صورت نت در آورده‌اند فاصله زمانی نت‌ها را از روی فاصله افقی بین لکه‌ها معلوم کرده‌اند. ولی میزان‌ها با قرعه معین شده است.

و مقدار فاصله جاری را انتخاب می کند، ارتفاع نت بعدی را پیدا می کند. با وجود این، این روند، از هارمونی که قبلاً انتخاب شده است، پیروی می کند. به خصوص لازم است که در ابتدا و میانه ضربه نت ملودی با صدای آکوردی باشد، یعنی با هارمونی توافق داشته باشد. اگر این قانون نقض شود، نت ملودی کنار زده می شود و دوباره «ساخته می شود».

ماشین، ضمن آغاز جمله دوم، تکرار ملودی جمله اول را آزمایش و مقدار فاصله جاری را انتخاب می کند. وقتی که هیچ گونه «برخوردی» با هارمونی تعیین شده پیدا نکند، این آزمایش منجر به انطباق کامل هر دو جمله می شود (همان طور که در موسیقی «زنده» هم گاهی به آن برخورد





می‌کنیم). این مطلب، با نخستین سه مثال نت‌ها روشن می‌شود. (تصویر صفحه قبل را ببینید).

ولی وقتی که معلوم شود تکرار ملودی با هارمونی متناقض است، ملودی برای ادامه جمله دوم، از نو تألیف می‌شود. گاهی این وضع، از همان نخستین نت جمله دوم پیش می‌آید (مثال ۴)، گاهی از نت دوم (مثال ۵). در بسیاری موارد هم «انحراف» از ملودی پیشین، جایی در وسط‌های جمله دوم، اتفاق می‌افتد (مثالهای ۶ تا ۱۰).

گفت انوری که در اثر بادهای سخت  
ویران شود عمارت و کساخ سکندری  
در روز حکم او نوزیده است هیچ باد  
یا مرسل الریاح، تودافی و انوری

افسانه‌ای می‌گوید: باده‌ها در ابتدا در جزیره گمنام و دور دستی،  
زندگی می‌کردند، ناخدایی، روح خود را به اهریمن فروخت و به جای آن  
نیروئی به دست آورد که توانست باده‌ها را به اسارت خود درآورد و بر  
آنها فرمان براند.

ولی، يك روز، کشتی این ناخدا به صخره خورد و متلاشی شد و همه  
کسانی که در آن بودند، غرق شدند. وقتی که ناخدا مرد، باده‌ها هم که زندانی  
ناخدا بودند آزاد شدند؛ منتهی جزیره خود را گم کردند. از آن روز بود  
که باده‌ها و طوفان‌ها، فرمانروای اقیانوس‌ها شدند و کشتی‌ها هم از آن پس،  
به جای پارو، به کمک بادبان‌ها به حرکت درآمدند.

وقتی که آدمی نتواند سرچشمه نیروهای طبیعت را بشناسد، به افسانه  
و تخیل پناه می‌برد؛ و چون خود نمی‌تواند بر آن‌ها مسلط شود، قدرت را  
درجائی دیگر و در نیروهای ناشناخته‌ای که گویا بر طبیعت حاکم است،  
جستجو می‌کند. ترس، بیش از هرچیز ناشی از جهل است و طبیعی است که  
بشر در برابر این نیروهای فوق‌طبیعی، که بر همه عوامل‌های طبیعی فرمان  
می‌رانند، دچار ترس و نگرانی شود و در تلاش آن باشد که آن‌ها را نرنجانند

و با قربانی و نیاز، رضایت آن‌ها را جلب کند.

گاهی خود نیروهای سهمگین طبیعت، به صورت خدا درمی‌آیند و گاهی ابزار کار خدایانی مجرد و ناشناخته می‌شوند و در هر حال چاره‌ای جز این نمی‌ماند که در برابر آن‌ها تسلیم محض بود و به زاری و تضرع پرداخت.

ولی، تجربه و زندگی به یاری انسان آمد، به تدریج بین بعضی از پدیده‌های طبیعی، بستگی‌هایی پیدا کرد و یاد گرفت تا از پیش‌آمدی، به پیش‌آمدی دیگر پی ببرد. منتهی، این بستگی‌ها، ناپایدار و زودگذر بود و خیلی زود به تناقض کشیده می‌شد و راه حل این تناقض‌ها هم، جز با قبول دخالت همان نیروهای فوق‌طبیعی ممکن نبود. با همه این‌ها، بعضی اعتقادات (اگرچه خلاف آن‌ها به کرات دیده می‌شد) قوت می‌گرفت و به رنگ مذهبی در می‌آمد:

- روز سیزده عید، همیشه بارانی و طوفانی است.

- اگر در روز دهم ژوئیه باران بیارد، تا شش هفته ادامه خواهد داشت.

- هوا در روز جمعه هر وضعی داشته باشد، روز یکشنبه هم همان

وضع را خواهد داشت.

با این گونه اعتقادات، که هنوز هم وجود دارد، به سختی می‌توان جنگید. آدمی، از طرفی کنج‌کاو و درآرزوی شناخت ناشناخته‌هاست و از طرف دیگر به آن‌چه که به نظرش جالب و نامتعارف باشد، دل می‌بندد. ضمناً، مردم به صورت جمعی خود، نمی‌توانند با اندیشه علمی دآوری کنند و مثلاً با روش آمار ریاضی، درصد نادرستی یا درستی اعتقاد خود را بیازمایند. بسیاری از پیروان مسیح هنوز هم معتقدند که «خورشید در روز اول عید پاك، جست و خیز و بازی می‌کند». البته، گاهی این امر، واقعاً هم دیده می‌شود و علت آن جریان‌های فورانی صعودی هوای مرطوب است. ولی، همه مردم به این فکر نیستند که آمار چنین واقعه‌ای را تنظیم کنند و ببینند که این حادثه در روزهایی هم که عید پاك نیست ممکن است پیش‌آید و هم در روز عید پاك، پیش نیاید.

از دیدگاه علمی، همین وضع، یعنی تلاش برای پیدا کردن بستگی-  
هایی که بین پدیده‌های طبیعی وجود دارد، گامی به پیش است، اگر چه این  
بستگی‌ها نارسا و تفسیر آن‌ها نادرست باشد.

گام بعدی، وقتی برداشته شد که براساس مشاهدات طولانی و دقیق،  
بستگی بین وضع هوا با وضع ابرها و خورشید و باد و دیگر عوامل، کم  
و بیش شناخته شد که بسیاری از آن‌ها اساس علمی دارد.  
ذکر چند نمونه از این بستگی‌های درست، جالب است.

\* وقتی که خورشید در پشت ابرهای سیاه غروب کند، معمولاً هوای  
فردای آن روز بارانی است. این یکی از نشانه‌های مورد قبول مردم است  
که اساسی علمی دارد. هوای گردبادها، معمولاً بارانی است [برای مفهوم  
گردباد و ضد گردباد، به صفحه ۱۶۴ همین مقاله مراجعه کنید]. ۹۵٪  
همه گردبادهای اروپا و آسیا، از غرب به شرق تغییر مکان می‌دهند؛ و  
خورشید عموماً در قسمت غربی آسمان افول می‌کند. وقتی که خورشید در  
پشت ابرهای سیاه غروب کند، به معنای آن است که خورشید در میان توده-  
های ابری گردباد، غروب می‌کند و بنابراین، گردباد، که نزدیک شده است،  
در قسمت غربی افق دیده می‌شود. گردباد با سرعتی معادل ۳۰-۳۵ کیلومتر  
در ساعت جا به جا می‌شود و روز بعد به محلی که از آن جا نظاره شده بود،  
می‌رسد و هوای آن جا را منقلب می‌کند. البته، هر ابری به گردباد مربوط



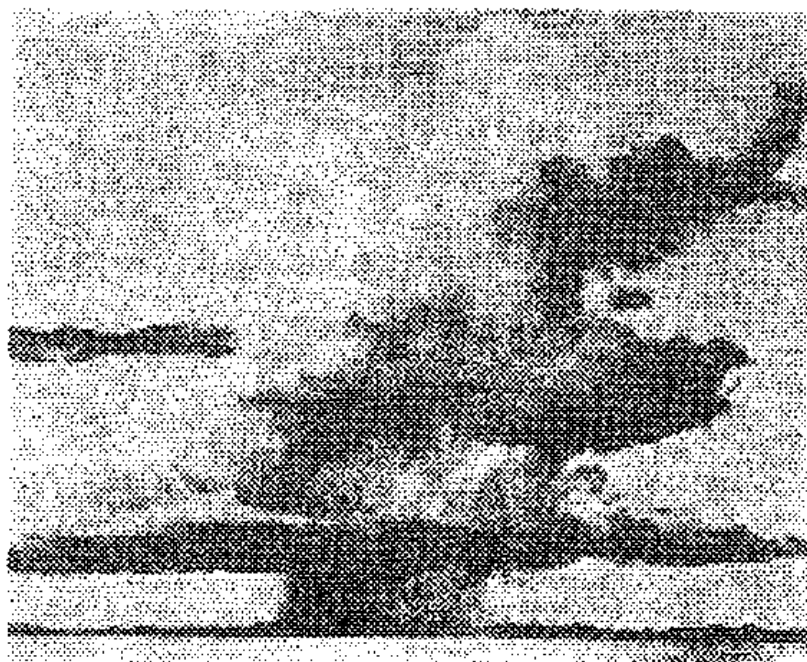
نمی‌شود، ولی برعکس، اگر در قسمت غربی افق نوارهای درازی (ابرهای دودی شکل پر مانند) دیده شود که به شکل بادبزن، از يك مبدا به اطراف گسترده شده است، با اطمینان زیادی می‌توان نزديك بودن گردباد را پیش-بینی کرد.

\* رنگ آسمان به سفیدی مایل شده، در آن ابرهای دودی شکل پر مانند ظاهر می‌شود. در این حال باید انتظار هوای بد را داشت، زیرا این وضع نشانه نزديك شدن گردباد است.

\* ابرهای غلیظ در بالا به هم پیوسته‌اند - هوا رو به بدی است. (توده‌های مه مخلوط می‌شوند، یعنی میزان رطوبت بالا می‌رود).  
\* روی ابرهای غلیظ، ستون‌های برج مانندی دیده می‌شود - رعد و برق در پیش است.

\* ابرهای غلیظ شکلی با خط‌های کاملاً روشن دارند - این نشانه هوای خوب و صاف و ملایم است. (ابرهای غلیظ، ضمن جریان صعودی هوا، تشکیل می‌شوند و آن‌ها را نباید با ابرهای غیر مشخصی که ممکن است نشانه بدی هوا باشد، اشتباه کرد).

\* اگر صبح هوا بی‌ابر باشد و به تدریج با طلوع خورشید، ابرهای كوچك غلیظی پیدا شود که بعد از ساعت سه، کم‌کم ناپدید شود، نشانه خوبی هوا در یکی دو روز آینده است. (چنین هوایی، هنگام ضد گردبادهای کم حرکت



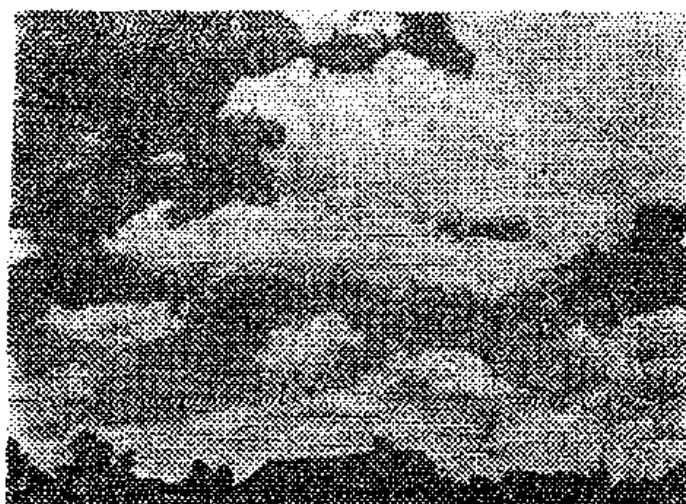
به وجود می آید.) معمولاً اگر هوا رو به خوبی باشد، ابرها بعد از ساعت ۱۵، که گرم شدن زمین قطع می شود، باید ناپدید شوند و هوا شفاف گردد. تنها وقتی این وضع پیش نمی آید که رطوبت هوا خیلی زیاد باشد.

\* اگر هنگام غروب، وزش باد شدیدتر شود، نشانه این است که هوا رو به بدی است. (و در واقع، به معنای این است که گردباد نزدیک است.)  
\* اگر باد شدیدتر شود، جهت حرکت آن تغییر کند و با جهت حرکت عقربه های ساعت تطبیق کند، دلیل نزدیک شدن باران است. (قسمت بارانی گردباد، نزدیک می شود).

\* شب به آرامی گذشته است، از ساعت ۸ - ۹ صبح بادی آغاز و تا نیمروز شدیدتر می شود و در حدود ساعت ۴ بعد از ظهر از بین می رود. این وضع، نوید هوای خوب است، (دراثر گرم شدن هوا، باد محلی ایجاد شده است.)

\* اگر هنگام بدی هوا، باد جهت وزش خود را آشکارا از شرق به غرب تغییر دهد، معنایش این است که هوا خوب خواهد شد. (مرکز گرد باد از محل دور شده است، یعنی قسمت اصلی بارانی آن، عبور کرده است.)

\* باد هنگام روز از دریا به طرف خشکی و هنگام شب از خشکی به طرف دریا می رود - این نشانه آن است که هوا رو به خوبی می رود. روز زمین بیشتر از دریا گرم می شود و هوای بالای آن سبک تر می شود و به وسیله هوای خنک تر دریا رانده می شود. شب که فرارسید، خشکی زودتر سرد می شود و باد جهت خود را عوض می کند. در تابستان تا وقتی که



گردبادی نزدیک نباشد، این ورزش نوبتی باد مرتب ادامه خواهد داشت.



و وقتی که بشر یاد گرفت که مشاهده را با آزمایش و آمارگیری و دقت در حوادث گذشته و حال پیامیزد، دیگر به آستانه دانش واقعی رسید. در زمینه مورد بحث ما (یعنی پی بردن به رازهای هوایی که ما را احاطه کرده است)، کارهای هتیو فونتن مودی، افسر نیروی دریایی ایالات متحده آمریکا در نیمه نخست سده نوزدهم، نمونه جالبی از این نوع است.

او از همان جوانی، که در کشتی‌های بادبانی کار می‌کرد، و بارها و بارها طعم تلخ طوفان‌ها را چشیده بود، آرزو داشت تاراهی برای فرار از سرکشی‌بادهای پیدا کند. بادهای آزادند، این درست، ولی آیا نمی‌توان از عادات‌ها و هوس‌هایشان آگاه شد و نیروی سرکش آن‌ها را مهار کرد یا به خدمتشان گرفت و یا دست کم خود را از مسیر آن‌ها بیرون کشید.

وقتی که مودی به خشکی برگشت و ریاست انبار نقشه‌ها و لوازم دریائی در واشنگتن به او سپرده شد، تصمیم گرفت که بایگانی - دفاتر کشیک‌های کشتی‌رانی جنگی و تجارتی - را سروسامان بدهد. در هر سال، کشتی‌های زیادی از منطقه‌های مختلف اقیانوس‌ها آمد و شد می‌کردند و در دفتر کشیک آن‌ها، آگاهی‌های گرانبهای درباره تقسیم و جهت جریان‌ها و بادهای مسلط، قید شده بود. همین آگاهی‌ها بود که اساس کتاب معروف او به نام «نقشه‌های بادها و جریان‌های آتلانتیک شمالی» را تشکیل داد. او نقشه‌ای درباره «سرچشمه‌های بادها» تنظیم کرد که در آن، ارزش و نیروی باد در هر ماه نشان داده شده بود. بعد از آن، دو جلد بزرگ دیگر، شامل دستورها و نقشه‌های دریایی، منتشر کرد.

از آن به بعد، دریانوردان از نقشه‌های مودی، استفاده می‌کردند که آگاهی‌های با ارزشی درباره مقصد دریانوردان و بادهایی که در مسیر آن‌ها، انتظارشان را می‌کشید، داشت. مسیر کشتی‌های بادبانی، به طور اساسی تغییر کرد. دیگر دریانوردان، انگشت خود را روی راه‌های مستقیم نمی‌گذاشتند. مسافت، اهمیت زیادی نداشت و بنابراین در انتخاب مسیر، می‌بایست به طور عمده، به وضع هوا و جریان بادهای، توجه شود. در مسیرهای مودی،

نقطه‌های آرام مشخص شده بود و بنابراین دریا نوردانی که می‌خواستند کشتی بادبانی خود را به کمک باد حرکت دهند، از این نقطه‌ها کناره می‌گرفتند و از مسیرهایی می‌گذشتند که همراه با وزش دائمی باد بود.

در سال ۱۸۵۳، در کنفرانس بین‌المللی هواشناسی در بروکسل، به پیشنهاد هودی تصمیم گرفته شد که یک سیستم نظارتی دائمی، برای تکمیل نقشه‌ها و دستورالعمل‌های دریائی، برقرار شود. دیگر رازهایی که ناخدایان کار کشته بتوانند آن‌ها را با حسادت پنهان نگاه‌دارند، وجود نداشت. نظارت‌های جمعی، امکان‌داد تا از بادهای و جریان‌های دریائی و اقیانوسی، نقشه‌های دقیقی تهیه شود. در این نقشه‌ها، سکون‌های استوائی، بادهای خشکی که در منطقه بین استوا و مدارها در حرکتند، بادهای مدارهای چهل درجه، بادهای موسمی و طوفان‌ها، مشخص می‌شد و بعضی از مسیرها را برای کشتی‌ها توصیه می‌کرد.

نخستین تأثیر عمده کار هودی، صرفه‌جویی در زمان مسافرت از سانفرانسیسکو از طریق دماغه هورن بود و در نتیجه میلیون‌ها دلار به سود صاحبان کشتی‌ها اضافه شد. مسافرت از لیورپول به ملبورن، پنجاه‌روز کوتاه‌تر شد.

کارهای هودی، حتی در زمان ما هم اهمیت خود را از دست نداده است و نقشه‌های کشتیرانی امروزی، بدون زحمات افسانه‌آمیزی که هودی متحمل شد، نمی‌توانست وجود داشته باشد.



«فردا هوای تهران ابری است و احتمال بارندگی می‌رود»  
با چنین جمله‌هایی است که معمولاً وضع هوا را، برای روز یا روز-های آینده پیش‌بینی می‌کنند. برای این پیش‌بینی، باید به طور دقیق و همه جانبه، نقشه‌های مربوط به نمایش پراکندگی عنصرهای جوی، مثل درجه حرارت، فشار هوا، جهت و سرعت باد، میزان رطوبت و غیر آن مورد بررسی قرار گیرد. تمامی آگاهی‌هایی که از نقطه‌های گوناگون جو به دست آمده است، در لحظه معین، مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد و معلوم شود که هوا از کجاها و با چه سرعت‌هایی به ناحیه مورد نظر می‌آید. با دانستن



این‌ها است که هواشناسان می‌توانند معلوم کنند: چگونه بادی ممکن است بوزد، درجه حرارت و رطوبت هوا چقدر می‌شود، وضع ابرها چگونه است و انتظار چه نوع ریزشی - برف یا باران - را از آسمان می‌توان داشت؟ این چند سطر کوتاهی که شما به عنوان احتمال وضع هوا در ساعت‌ها یا روز-های آینده می‌شنوید، نتیجه چنین کار عظیم و دقیقی است.

هیچ چیز در طبیعت زمین، تأثیری چنین آشکار و عظیم، مثل وضع هوا، بر زندگی فردی و اجتماعی مردم ندارد. هوا - یا بهتر بگوئیم آب و هوا - شرط اصلی زیست آدمی است؛ هوا، تنظیم‌کننده حال و روحیه ماست؛ هوا، علت بسیاری از بیماری‌هاست؛ هوا، «طراح» لباس ما در بیرون از خانه و در مسافرت‌ها است؛ هوا، «معمار» خانه‌های مسکونی ما است؛ هوا، «تنظیم‌کننده» امور حمل و نقل ما به ویژه در هواپیمائی است؛ هوا، «سر مهندس» کشاورزی در کشت و زرع ماست؛ و بالاخره هوا، «گناهکار اصلی» در خرابی‌های خانمان برانداز طبیعی در زندگی انسان‌ها است.

و چه تأسف‌آور است که انسان هنوز نتوانسته است به طور کامل بر آب و هوا چیره باشد. هرچه دانش بیشتر به رازهای هواپی می‌برد، آشکارتر می‌شود که هنوز اندیشه تسلط جدی دانش بر هوا، خیلی زود است. منتها این می‌ماند که پیش‌بینی‌ها را دقیق‌تر کنیم، که البته حتماً در این حدهم بی‌نهایت اهمیت دارد. حقیقت این است که هر وقت در پیش‌بینی وضع هوا، حتی به میزان کمی، پیشرفت کنیم، امکان صرفه‌جوئی میلیاردها ریال را در سطح جهانی فراهم کرده‌ایم.

از این‌جا آشکار می‌شود که چرا مسأله پیش‌بینی هوا، یکی از مسأله‌های جدی و ریشه‌ای دانش و در عین حال یکی از پیچیده‌ترین آن‌ها به شمار می‌رود.

ولی، روشی که هواشناسان تا همین اواخر دنبال می‌کردند (و هنوز هم در بسیاری جاها دنبال می‌کنند)، بیشتر به تجربه و احساس و کاردانی متخصصین هواشناسی بستگی داشت. روش کار آن‌ها، آدم را به یاد وضع قضاوت در انگلستان قدیم می‌اندازد. در آن‌جا، قاضی برای رسیدگی به یک پرونده، پرونده مشابهی را از بایگانی تاریخ پیدا می‌کرد و از روی آن

درست همان حکمی را می‌کرد که یکی از همکارانش در گذشته صادر کرده بود. هواشناسان هم کم و بیش به همین نحو عمل می‌کنند، آن‌ها با تفسیر نقشه‌های هواشناسی و ارزیابی وضع مبداء و اولیة هوا توسط دستگاه‌های هوا سنج، و از راه مقایسه آن با اوضاع واحوال مشابه زمان گذشته، وضع هوا را مطابق با همان اوضاع، پیش‌بینی می‌کنند.

ولی، واقع این است که عصری نو در هوا شناسی آغاز شده است. روش‌های کیفی هوا شناسی، جای خود را به روش‌های کمی هیدرودینامیک، که براساس قانون‌های حرکت مایعات و گازها قرار دارند، می‌دهند. در این جا تمام عنصرهای هواشناسی (باد، فشار، رطوبت و غیره)، معادله‌های دشواری از زرادخانه هیدرودینامیک به شمار می‌آیند که نه تنها باید تنظیمشان کرد، بلکه باید به حل آن‌ها هم اقدام کرد.

نخستین اقدام برای «محاسبه» وضع هوا، بیش از نیم سده پیش، و در انگلستان، انجام شد. گروه بزرگی از محاسبه‌کنندگان به‌منظور پیش‌بینی وضع هوا در بیست و چهار ساعت آینده، شش ماه وقت صرف کردند! و نتیجه ناموفق بود. باید واقعیت را گفت. واقعیت این بود که انگلیسی‌ها سعی می‌کردند «همه عوامل‌های موجود در جهان» را به حساب آورند. در دستگاه معادله‌های آن‌ها، عامل‌های کم اهمیت همان قدر وجود داشت که عامل‌های اساسی. و البته امکان هم نداشت که نتیجه‌ای غیر از این حاصل شود، زیرا در آن زمان نه روش درست انتخاب عامل‌ها وجود داشت، نه نظریه محاسباتی ساده و نه تکنیک لازم محاسبه.

تنها در سال‌های ۵۰ سده بیستم، وقتی که نظریه و تکنیک محاسبه الکترونی پیدا شد، امکان «محاسبه» هوا، به جای «پیشگوئی» آن به وجود آمد.



آیا شمارگرهای الکترونی می‌توانند وضع هوا را پیشگوئی کنند؟ به زبان دیگر، آیا می‌توان مسأله پیشگوئی وضع هوا را، به دنباله‌ای از عمل‌های ریاضی تبدیل کرد؟ پاسخ این پرسش، مثبت است. این روزها، شاخه‌ای از دانش هواشناسی عملاً به وجود آمده است - شاخه‌ای که

«پیش‌گوئی محاسبه‌ای وضع هوا» نامیده می‌شود. این شاخه تازه دانش، در عمل موفقیت‌های زیادی پیدا کرده است. کمی از آمار کمک بگیریم: تا سال ۱۹۴۰ تعداد مقاله‌های علمی درباره پیش‌گوئی محاسبه‌ای را می‌شد با انگشتان دست برآورد کرد، در سال ۱۹۵۰ تعداد این مقاله‌ها به چند ده تا و تا سال ۱۹۶۷ بالغ بر هزار شد و امروز...

امروز، بسیاری از کارهایی را که پیش از این با دست انجام می‌شد، به یاری شمارگرهای الکترونی انجام می‌دهند. ضمناً شمارگرها، کار را هم دقیق‌تر و هم خیلی سریع‌تر به پایان می‌رسانند، شمارگرها، برای این که وضع احتمالی هوا را در شبانه روز آینده معین کنند، باید چند میلیون عمل را انجام دهند.

ببینیم این پیش‌گوئی محاسبه‌ای چگونه است؟

اگر از جزئیات بگذریم، می‌توان گفت که هوا عبارت است از نتیجه حرکت توده جو، به اضافه عامل‌های بسیار گوناگونی که تابع قانون‌های فیزیکی معینی هستند و نسبت به هم تأثیر متقابل دارند، همه این عامل‌ها



عکس‌هایی از دو قطب زمین، که از داخل سفینه فضایی گرفته شده‌اند: طرف راست نیم کره شمالی و طرف چپ نیم کره جنوبی. لکه‌های سفید، ابرهایی هستند که به طرف قطب کشیده می‌شوند، مثل این که می‌خواهند منطقه‌های استوایی را برای تابش خورشید باز نگهدارند. ولی البته، همیشه این‌طور نیست.

و عمل‌های متقابل آن‌ها را می‌توان به یاری معادله‌های ریاضی مشخصی بیان کرد، و با حل آن‌ها، پاسخ مسأله مربوط به وضع هوا را، با بیان عددی و با دقت کامل به دست آورد. ولی، این يك نظریه است. در عمل، «معادله‌های هوا» عبارتند از انجام انبوهی از عمل‌های نجومی حساب. البته، ماشین می‌تواند این عمل‌ها را به سرعت انجام دهد، ولی در هر حال انسان است که باید برنامه کار ماشین را براساس مفروضات معین کند، و برای این کار هم، زمان بسیار زیادی لازم است. از این گذشته، ماشین در تنظیم پیشگوئی‌های خود، تنها می‌تواند به ساده‌ترین «میدان‌ها» - یعنی ارتفاعات - پردازد.

موضوع چیست؟ چرا پیش‌گوئی‌های عددی، میدان‌های مجاور به سطح زمین را دربر نمی‌گیرد؟ و چرا پیش‌گوئی درباره «ارتفاعات» ساده‌تر است؟ حقیقت این است که آگاهی‌های ما درباره قشری از جو، که تمامی زندگی و فعالیت روزانه ما در آن انجام می‌گیرد، تا حد زیادی کمتر و مبهم‌تر از آگاهی‌های ما در باره «ارتفاعات» است، زیرا روندهای جوی قشرهای پایینی، خیلی پیچیده‌تر از روندی است که در جو آزاد، جریان دارد. خیلی چیزها است که در قشر پایینی هوا اثر دارد: ناهمواری سطح زمین، اختلافی که در هدایت گرما بین خشکی و آب وجود دارد، وجود جنگل، برف، زمین‌های خشك و غیر آن، و روشن است که برای پیش‌گوئی، باید همه این عامل‌ها را به طور دقیق به حساب آورد، عامل‌هایی که حتی نام بردن آن‌ها، به جایی بیشتر از تمامی این مقاله، نیاز دارد.

چگونه می‌توان از این موقعیت دشوار نجات پیدا کرد؟ تنها راه، ساده کردن معادله‌هاست: عامل‌های کم اهمیت را کنار می‌گذاریم و خود معادله‌ها را هم با تقریبی که لازم است، حل می‌کنیم. و البته، این منجر به اشتباه‌هایی می‌شود... آیا به این مناسب باید نتیجه گرفت که شاید اصلاً روش محاسبه‌ای لازم نیست؟

اکثریت قریب به اتفاق هواشناسان، با پیش‌گوئی هوا به یاری محاسبه، موافقت، از آن با دقت مراقبت می‌کنند و تلاش می‌کنند آن را تکامل دهند. ولی، در میان دوستانان روش محاسبه‌ای پیش‌گوئی هوا، به آدم‌های

مردد هم بر خورد می کنیم. آن‌ها می گویند.

- این چگونه پیش گوئی است که بر اساس کنار گذاشتن گروه قابل توجهی از عامل‌های مهم انجام می گیرد؟ شما، مثلاً جریان‌های حرارتی را که به وسیله توده‌ای از هوا حرکت می کند، به خاطر ساده‌تر شدن حل معادله‌ها، کنار می گذارید. شما باد حقیقی را، به صورت باد ژئوستروفیک قبول می کنید، بادی «خیالی» که بدون شتاب حرکت می کند. و تازه، خیلی چیزها را یا حذف می کنید و یا تقریبی به حساب می آورید. در حالی که ما ویژه کاران، همه عامل‌های مؤثر را در نظر می گیریم و به حساب می آوریم! ولی، حقیقت این است که این افراد حق ندارند. وقتی که پیش گوئی به طریق ذهنی باشد، وقتی که این پیش گوئی بر اساس محاسبه نباشد، آن وقت خیلی دشوار است معلوم کنیم که چه چیزهایی و چگونه، در این پیش گوئی دخالت می کند. اگر این افراد گمان می کنند که همه چیز را به حساب می آورند، چرا گاهی دچار اشتباه می شوند و از آن گذشته، چگونه می خواهند



نقطه‌ها، جای ایستگاه‌های هواشناسی را در نیم کره شمالی نشان می دهند. حتی در قاره‌ها هم، تعداد این نقطه‌ها متفاوت است. تازه از اقیانوس‌ها صحبت نمی کنیم. مثلث‌های سیاه، منطقه‌هایی از اقیانوس‌ها را نشان می دهند که می توان به کمک ماهواره‌های هواشناسی، از آن‌ها کسب اطلاع کرد. می بینید که در این جا هم جاهای خالی وجود دارد، زیرا هنوز تعداد ماهواره‌ها به اندازه کافی نیست.

روش پیش‌گوئی خود را تکمیل کنند؟

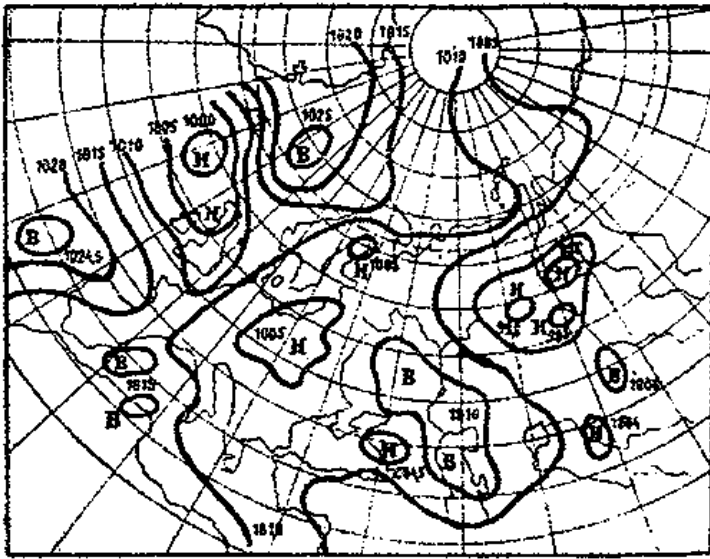
در پیش‌گوئی محاسبه‌ای، وضع به صورت دیگری است. در پیش‌گوئی محاسبه‌ای کاملاً معلوم است که چه عامل‌هایی به حساب آمده و از چه چیزهایی صرف‌نظر شده است. از آن‌مهم‌تر این که به سادگی می‌توان حد‌کار برد این و یا آن طرح پیش‌گوئی عددی را معین کرد.

دلیل‌های بی‌دقتی پیش‌گوئی‌های محاسبه‌ای امروز، بر سه اساس است: اولاً نارسائی طرح فیزیکی پیش‌گوئی، و این که بعضی از عامل‌هایی که در هوا تأثیر دارند، به طور دقیق به حساب نمی‌آیند، ثانیاً کافی نبودن مقدار یا کافی نبودن دقت مشاهدات داده شده در ابتدای پیش‌گوئی؛ ثالثاً خصوصیت مربوط به حل تقریبی معادله‌ها. و همین‌هاست که موجب اشتباه در پیش‌گوئی می‌شود و کار طرح پیش‌گوئی را دشوار می‌کند. با وجود این دشواری، ما در برابر يك بن‌بست نیستیم. روش‌هایی برای پیش‌گوئی‌های محاسبه‌ای به وجود آمده است که تا حد زیادی از اشتباه‌ها کم کرده است. سخن کوتاه، هر قدر که روش‌های محاسبه تکمیل‌تر شود، به همان اندازه ویژه‌کاران هواشناسی هم، از اشتباه دورتر می‌شوند.

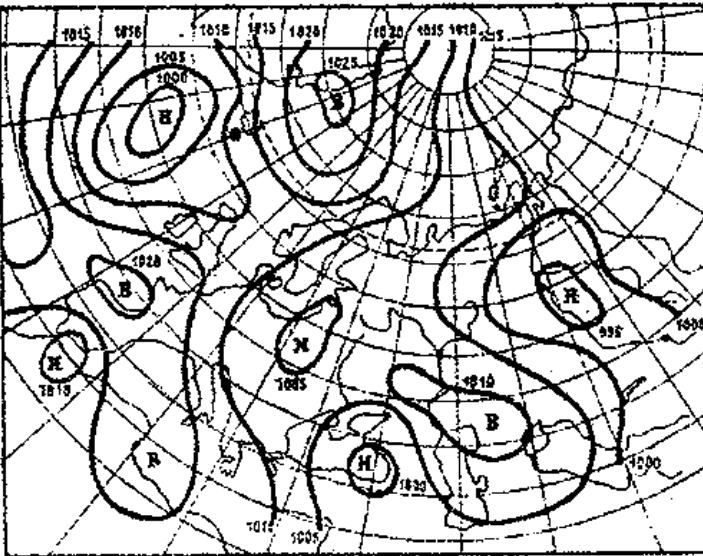
ولی، این يك طرف کار است. جانب دیگر کار، عبارت است از به اصطلاح پیش‌گوئی محدود، یعنی پیش‌بینی هوا در يك ناحیه كوچك. چنین پیش‌بینی با روش‌های سنتی ممکن نیست و در برابر هواشناسان، حتی دور-نمای امیدبخشی هم از این بابت وجود ندارد. در این مورد، روش محاسبه‌ای، مطلقاً بی‌رقیب است.

هواشناسان، کار مربوط به پیش‌گوئی هوا را در محدوده‌های كوچك، تازه آغاز کرده‌اند، با وجود این، به نتیجه‌های نسبتاً جالبی رسیده‌اند. آن‌ها موفق می‌شوند پیش‌گوئی کنند که در تهران باران می‌بارد، و پیش‌گوئی آن‌ها هم درست از آب در می‌آید.

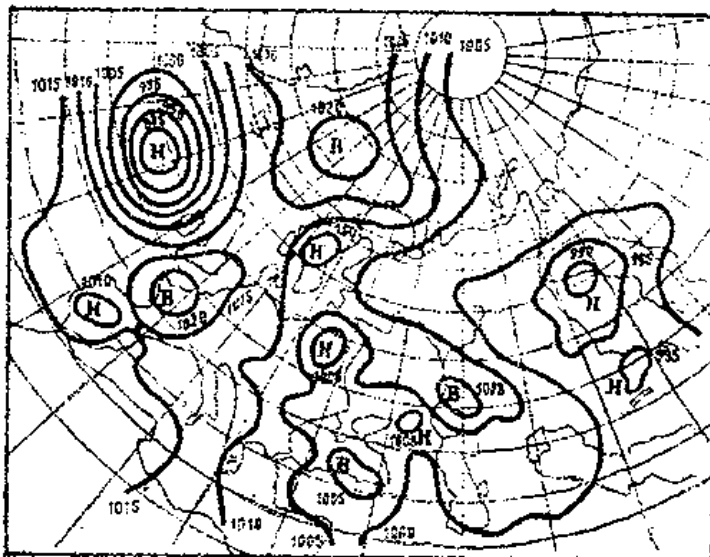
هواشناس پیش‌گوئی می‌کند که «در تهران بارندگی جدی نخواهد بود». ولی، در واقع، باران می‌بارد و این، پیش‌گوئی هواشناسی را نقض نمی‌کند؛ او نگفته بود که باران نمی‌بارد، او تنها ادعا کرده بود که بارندگی اساسی نخواهد بود.



۱. وضع اولیهٔ دما و هوا در روز ۹ ژوئیه سال ۱۹۷۶، که براساس آن، هوای روز-های ۱۰ و ۱۱ ژوئیه، در مرکز هواشناسی اتحاد-شوروی، پیش‌بینی شده بود.

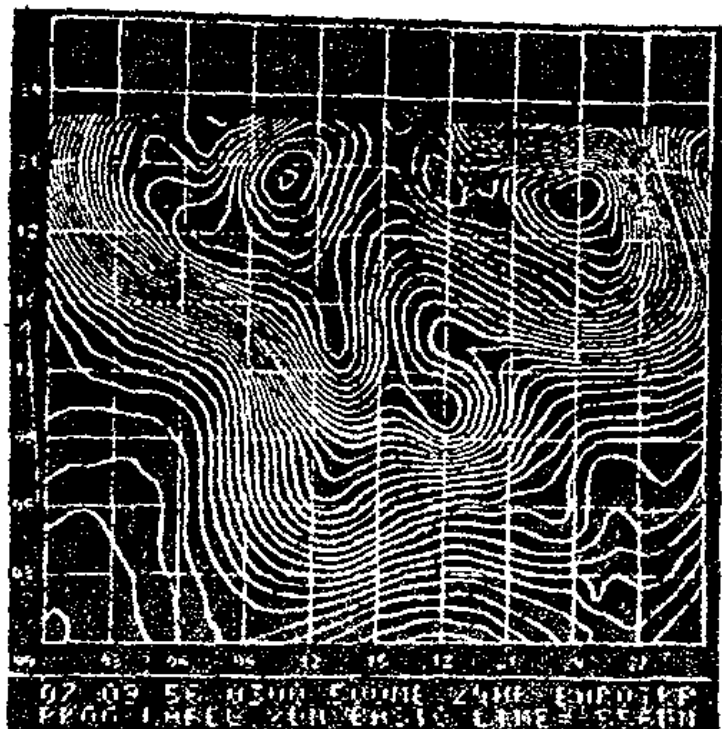


۲. پیش‌بینی دما شبنمی، هوا برای روزهای ۱۰ و ۱۱ ژوئیه سال ۱۹۷۶.



۳. وضع واقعی هوا در روز ۱۰ ژوئیه ۱۹۷۶.

به یاری پیش‌گونی محاسبه‌ای می‌توان کم و بیش با دقت معلوم کرد که کی و کجا باران می‌بارد. و پیش‌گونی وضع هوا هم یعنی همین. به منظور پیش‌بینی وضع هوا در ۲۴ یا ۳۶ ساعت آینده، از اطلاعات جمع‌آوری شده از مساحتی با اندازه تقریبی  $10000 \times 10000$  کیلومتر استفاده می‌کنند. آگاهی‌های ایستگاه‌های هواشناسی واقع در این محدوده را باید به جدولی با گام‌های ۳۰۰ کیلومتر - که اصطلاحاً جدول تنظیم‌نامیده می‌شود - منتقل کرد. اما دشواری کار در این است که ایستگاه‌های هواشناسی روی زمین، با فاصله‌های منساوی از یکدیگر قرار ندارند، در حالی که با روش‌های محاسبه‌ای، لازم است که معلومات اولیه عنصرهای هواشناسی در محدوده مورد نظر، از نقطه‌هایی که به فاصله‌های یکسانی از یکدیگر قرار دارند، گرفته شود. این مشکل را هم به کمک ریاضیات حل می‌کنند. تمام مساحت مورد نظر را با پوششی چون تور ماهی‌گیری می‌پوشانند (البته



این نقشه، به وسیله ماشین تهیه شده است. نقطه‌هایی که با فشار مساوی و در یک ارتفاع قرار دارند، به وسیله منحنی‌ها به هم وصل شده‌اند. روی منحنی‌ها دیده می‌شود که در قسمت شمالی نقشه، از سمت چپ و از سمت راست گردبادهایی وجود دارد که همراه با ریزش برف و باران نیست. در آن‌جا منحنی‌ها متراکم شده‌اند، باید منتظر جریان شدیدی از حرکت هوا، با سرعتی حدود ۵۰ کیلومتر در ساعت بود.



به صورت فرضی) و در هر گره از این تور - که فاصله اش از دیگری حدود ۳۰۰ کیلومتر است - آگاهی های مربوط به عنصرهای هواشناسی را که با روش محاسبه ای به دست آمده است، جمع آوری می کنند (این محاسبه ها، مسأله های مستقلی را تشکیل می دهند و تحلیل عینی نامیده می شود. محاسبه های مذکور درباره هر يك از عنصرهای هواشناسی، مثل باران، حرارت، فشار و غیره انجام می گیرد و به این ترتیب، نه حل يك مسأله، بلکه حل عمومی يك برنامه محاسبه ای، ضرورت پیدا می کند). برای پیش بینی مؤثر، گذشته از معلومات زمینی، از آگاهی های جوی هم استفاده می کنند، آگاهی هایی که از ارتفاع های مختلف جو به دست می آورند.

همه این ها به خاطر پیش بینی هوا در يك شبانه روز آینده است. اگر لازم شود نظری به وضع هوا در سه روز آینده بیندازند، آنگاه باید آگاهی های هواشناسی تمامی نیم کره شمالی را جمع آوری کرد. در این صورت، هر گام جدول عبارت از ۱۰ درجه طول و ۵ درجه عرض جغرافیائی، به اضافه همان ارتفاع های جو خواهد بود. به این ترتیب، روی هم نزدیک به ۲۵ هزار آگاهی مقدماتی جمع خواهد شد.

از این جا نوبت به خودپیش بینی، یعنی حل دستگاه معادله ها می رسد. نتیجه کار به وسیله شمارگرهای الکترونی، در نقشه های عنصرهای هواشناسی، با نمودار و چگونگی تغییر وضع هوا در چند روز آینده، چاپ می شود.

به نظر می رسد که دیگر کار تمام است و باید نتیجه پیش بینی شده را انتشار داد. ولی این طور نیست. هواشناسان، به ماشین ها اعتماد در بست ندارند و پیش بینی شمارگرها را اصلاح می کنند. در واقع، هواشناسان به روندهای طبقه های بالای جو کاری ندارند. در این مورد کار ماشین ها قابل اعتماد است. ولی، در مورد پیش آمدهایی که در نزدیکی سطح زمین اتفاق می افتد، تصحیح هایی لازم است. علت این امر روشن است: همان طور که قبلاً هم دیدیم، حرکت هوا در نزدیکی سطح زمین دارای قانون هایی به مراتب پیچیده تر از حرکت آن در طبقه های بالای جو است.

پیش بینی وضع هوا، برای منطقه ای بسیار كوچك به اندازه  $300 \times 300$

کیلومتر و برای ۱۲،۶ یا ۲۴ ساعت آینده، کاری است که هم اکنون در دست برنامه‌ریزی است، لیکن، با وجودی که در راه آن دشواری‌های زیادی وجود ندارد، هنوز به مرحله عمل نرسیده است. وقتی که چنین پیش‌بینی میسر بشود، ما خواهیم توانست با اطمینان کامل آگاهی پیدا کنیم که در چه ساعتی در شهر ما باران آغاز و یا قطع خواهد شد.

آنچه تاکنون گفتیم مربوط به پیش‌بینی‌های کوتاه مدت است. ما در باره «وضع هوای فردا» صحبت کردیم، که البته به جای خود اهمیت بسیار دارد. اما پیش‌بینی هوا، برای مدت‌های طولانی‌تر، و مثلاً دو هفته، یک ماه و یا یک فصل، به ویژه برای اقتصاد ملی هر کشور، اهمیت به سزا دارد. مثلاً، یک چنین پیش‌بینی می‌تواند از خشک‌سالی و یا باران‌های طولانی، قبل از وقوع آن‌ها خبر و امکان آماده شدن را به انسان بدهد. ولی، اگر پیش‌بینی‌های کوتاه مدت با استفاده از روش‌های محاسبه‌ای، تا حد زیادی پیشرفت کرده است، در مورد پیش‌بینی‌های دراز مدت هنوز در ابتدای کار هستیم. اگر چنین روش‌هایی وجود داشت و اگر می‌شد انحراف‌های شدید و طولانی‌آب و هوا، چون خشک‌سالی‌های ۱۹۷۲ و ۱۹۷۵ اروپای شرقی و یا خشک‌سالی ۱۹۷۶ اروپای غربی را از قبل پیش‌بینی کرد، می‌شد از بسیاری ضایعات و دشواری‌های ناشی از آن‌ها جلوگیری کرد.

روشن است که هرچه پیش‌گویی عددی، مربوط به فاصله زمانی دورتری باشد، به همان اندازه بعدها‌ی عددی که برای پیش‌گویی مورد استفاده قرار می‌گیرد، گسترده‌تر می‌شود. و این کاملاً قابل فهم است: در زمان طولانی‌تر، توده‌های هوا در مسیرهای بیشتری منتشر می‌شوند. ولی، وقتی با حجم زیادی از عددها سروکار داشته باشیم، باید بتوان خیلی سریع‌تر از عهده عمل با آن‌ها برآمد و در نتیجه، به سرعت کار شمارگرهای الکترونی و به خصوص به «حافظه» آن‌ها بیشتر نیازمند می‌شویم.

پرسشی پیش می‌آید: آیا نمی‌شود حجم داده‌ها را، بدون این که به دقت کار لطمه زیادی وارد بشود، کم کرد؟ یعنی، آیا نمی‌شود چنان خاصیت‌هایی از عامل‌های جوی را انتخاب کرد که هر کدام از آن‌ها، بیشترین آگاهی-

های مربوط به ذات و خاصیت اصلی عددهای اولیه مشاهده‌ها را، در خود جمع کرده باشد؟ روشن شده است که چنین خصیلت‌ها و خاصیت‌هایی را می‌توان پیدا کرد و طرح پیش‌بینی هوا را براساس آن‌ها ریخت.

راست است که تنظیم برنامه پیش‌بینی هوا کاری دشوار است و به سرعت هم نمی‌توان انجام داد. ولی اگر حتی برنامه کار هم آماده باشد، نمی‌توان آن را بلافاصله وارد عمل کرد؛ باید برای توجیه آن، کار عظیم و دقیقی انجام داد. هر قدر برنامه پیچیده‌تر باشد، توجیه آن هم دشوارتر است. هر قدر برنامه کامل‌تر باشد، پیچیده‌تر است و در نتیجه، به خودکاری بیشتری برای برقراری آن نیاز است. در این جا، بیش از نیروی شمارگرهای الکترونی، به خودکار شدن کارهایی نیاز است که در پیش‌گوئی هوا، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

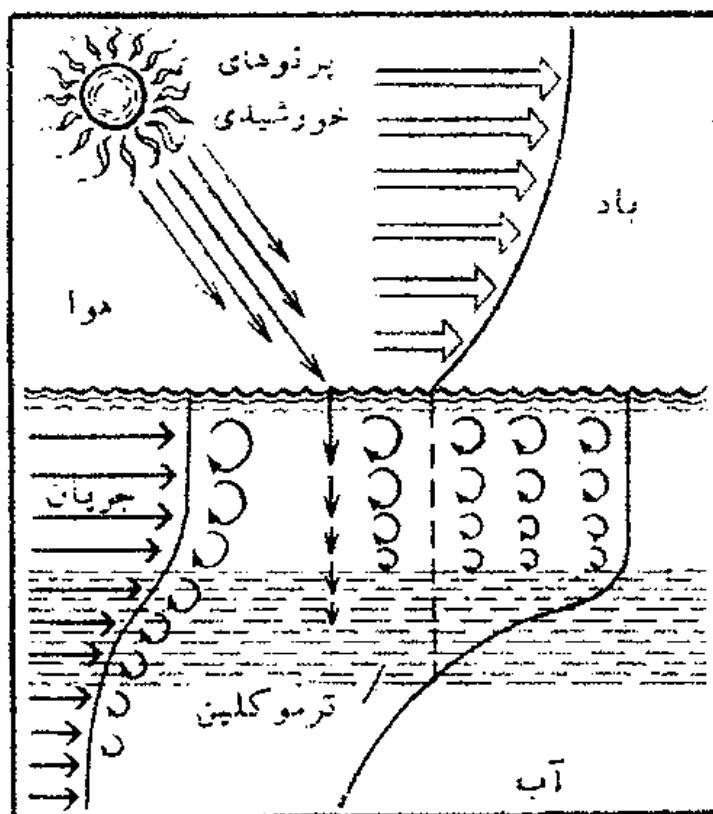
حتی حالا، وقتی که از برنامه مشخصی استفاده می‌شود، نمی‌توان از همه امکاناتهای ماشین استفاده کرد. ما با انبوهی از مفروضات سروکار پیدا می‌کنیم که باید آن‌ها را تحلیل کنیم، و همه این‌ها هم با دست انجام می‌شود. هر قدر برنامه کامل‌تری داده شده باشد، آگاهی‌های بیشتری به همراه دارد، و در نتیجه، توفیق کمتری در استفاده از آن‌ها به کمک دست پیدا می‌کنیم.

امروز کوشش‌هایی در این جهت می‌شود که شمارگرهای الکترونی بتوانند حتی نقشه لازم را به‌طور خودکار تنظیم کنند. نمونه چنین نقشه‌هایی وجود دارد، ولی برای این که بتوان در عمل از آن استفاده کرد، هنوز باید بر دشواری‌های زیادی غلبه کرد.

ضمناً این مطلب هم خیلی مهم است که آگاهی‌های لازم دیر نرسد. این آگاهی‌ها، ۳-۴ ساعت بعد از لحظه مشاهده به مرکز پیش‌گوئی می‌رسد. برای این که این زمان کوتاه‌تر شود، باید ارتباط مستقیم بین مشاهده، محاسبه و پیش‌گوئی را، تا حد امکان، بیشتر برقرار کرد. ولی، وقتی که از آگاهی‌های لازم مبداء برای تحلیل محاسبه‌ی پیش‌گوئی هوا صحبت می‌کنیم، به جاست که يك عامل نامساعد را به یاد داشته باشیم: این آگاهی‌ها، به‌طور نااهم‌آهنگ، از نقطه‌های مختلف کره زمین می‌رسد. بیشتر ایستگاه-

های هواشناسی در اروپا و امریکای شمالی است، از قاره‌های دیگر آگاهی‌های خیلی کمی می‌رسد و از صحراها و منطقه‌های غیر مسکونی، تقریباً هیچ اطلاعی نمی‌رسد. همچنین آگاهی‌هایی که از پهنه اقیانوس‌ها می‌رسد، بسیار ناقص و غیرکافی است. و همه این‌ها کار پیش‌گوئی محاسبه‌ای هوا را، بسیار مشکل می‌کند.

در سال‌های اخیر، راه‌های تازه‌ای برای دریافت آگاهی‌های مربوط به هواشناسی پیدا شده است، و آن استفاده از ماهواره‌های هواشناسی است. ماهواره‌ها بر فراز منطقه‌های مختلف پرواز می‌کنند، از ابرها، طوفان‌ها و تلاطم‌های جوی عکس می‌گیرند و به صورت تصویرهای تلویزیونی به



در این طرح، اصول تأثیرهای متقابل جو و اقیانوس نشان داده شده است. در سطح اقیانوس، طبقه‌ای از آب تشکیل می‌شود که در آن، تحت تأثیر باد، جریان‌ها و پرتوهای خورشیدی، اختلال‌های شدیدی به وجود می‌آید. پایین‌ترین طبقه‌ای وجود دارد که به آن اصطلاحاً «ترموکلین» گویند که در تأثیرهای متقابل جو و اقیانوس نقش مهم‌تری دارد. به ویژه در همین طبقه است که ذخیره‌های گرمایی، که با رسیدن به جو قادرند تأثیری اساسی بر روند آن بگذارند، جمع می‌شود و به کمک جریان‌ها، نقل و انتقال پیدا می‌کند.

مراکز خود مخابره می کنند. دستگاه های اندازه گیری که در ماهواره گذاشته شده است که آگاهی هایی از جریان های حرارتی که در قشر های بالای جو زمین وجود دارد، به زمین می فرستند. ولی این هنوز کم است. باید شبکه وسیعی از ایستگاه های هواشناسی خودکار در خشکی ها و دریاها و همچنین در نقطه های مرتفع کوهستان ها، برقرار شود، و روشن است که همه این ها مربوط به آینده است. آنچه که مربوط به امروز است باید گفت که روش پیش گوئی محاسبه ای وضع هوا، تنها آغاز به پیشرفت کرده است و برای تکمیل آن، میدان گسترده ای در برابر پژوهندگان جوان قرار دارد.



مختصری هم به عامل هایی پردازیم که در تغییر وضع هوا دخالت دارند.

جریان های دریائی و پیش از همه گلف استریم و کوروشیو (جریان آب های ژاپن)، آب های گرم را به شمال و جنوب - به منطقه ایسلند در آتلانتیک، به جزیره های آلوشن در اقیانوس آرام، و به سوی قطب جنوب می برند. این آب ها در آن جا با هوای سرد برخورد می کنند و بین اقیانوس و جو، تبادل حرارتی شدیدی به وجود می آید. هوای گرم شده توسط اقیانوس، و توده های هوای سرد قطبی اطراف آن در یکدیگر تأثیر می کند و باعث به وجود آمدن «اغتشاش هایی» در جو می شود (از نوع گردباد و ضد گردباد) که جریان های هوائی سیاره ای، آن ها را با خود به شرق، به قاره های که در آن جا منطقه های گرم ایجاد می کند، می برد.

البته قاره ها هم توسط خورشید گرم می شوند و گرمای خود را به جو می دهند که این خود موجب دگرگونی های بزرگ در وضع هوا می شود. ولی، تأثیر این امر چندان طولانی نیست و فقط در پیش بینی های حداکثر یک ماهه هوا، دارای اهمیت است.

اگر مقدار ابری بودن منطقه های حاره بیش از میزان معمول باشد، درست عکس این وضع پیش می آید و هوای قاره ها بالاخره به سردی می گراید. این جریان ها به کندی و هم آهنگ با جریان های اقیانوسی انجام می گیرد و مثلاً تأثیر «داغی زیاد» منطقه های حاره ای اقیانوس، تقریباً

بعد از يك فصل، در آب و هوای قاره‌ها پیدا می‌شود. بنابراین، اگر بتوانیم پیش‌بینی کنیم، باید دست کم دو ماه قبل، مثلاً از خشك‌سالی آینده آگاه شویم. ولی کار به این سادگی نیست و برای این که با طرح ساده‌ی از دشواری‌ها آشنا شوید، به ذکر بعضی از «جزئیات» می‌پردازیم که به حساب آوردن آن‌ها در تنظیم پیش‌بینی ضرورت جدی دارد:

۱. توده‌های هوای زمینی که در حال چرخش است حرکت می‌کند. این سیل عظیم هوا، در سرزمین‌های معتدل، باد ژئوستروفیک، یا انتقال غربی - شرقی، نامیده می‌شود. انحراف توده‌های هوا، از مسیر اصلی و عمومی خود، به ندرت پیش می‌آید (دلیل این انحراف می‌تواند ناهمواری سطح زمین، تغییرات حرارت در قسمت‌های مختلف آن و یا عامل‌های دیگری باشد)، اما به ویژه همین انحراف‌ها هستند که موجب دگرگونی‌های عنصر-های جوی می‌شود، که برای تعیین میزان و اندازه تأثیر آن‌ها باید تمامی مسیر اصلی مورد بررسی قرار گیرد، یعنی «برای پیدا کردن قارچ باید تمامی جنگل را رفت و روب کرد».

۲. انتقال غربی - شرقی، همراه با تلاطم‌های کوچک و متوسط جوی است و در حرکت پدیده‌های اغتشاشی بزرگی چون گردباد و ضد گردباد، تأثیر اساسی می‌گذارد. این اغتشاش‌ها به خاطر نیروی ماند (اینرسی)، به سمت غرب منحرف می‌شوند و در نتیجه در جهت عکس چرخش سیاره‌ای، به حرکت در می‌آیند. اما سرعت چرخش دائماً تغییر می‌کند و خود اغتشاش‌ها نیز دائماً در حال تغییرند، به این ترتیب، روشن می‌شود که چرا پیش‌بینی وضع آن‌ها بعد از ۴۴ ساعت، تا به این اندازه دشوار است.

۳. این اغتشاش‌ها در میل اصلی خود، طوفان‌هایی ایجاد می‌کند. مثلاً هر گردباد، وقتی که از سیل اصلی جدا شود، با آن و با طوفان‌های دیگر نزدیک به خود، برخورد می‌کند. در نتیجه، گردباد به طوفان‌های کوچک‌تری تقسیم می‌شود که آن‌ها هم به نوبه خود کوچکتر می‌شوند. به این ترتیب، يك رشته طوفان‌هایی که دائماً کوچکتر می‌شوند، ایجاد می‌گردد. از طرف دیگر و هم‌زمان با آن، روند معکوس هم به وجود می‌آید: متحد و بزرگتر شدن طوفان‌ها. و تمام این‌ها در چگونگی هوا تأثیر

اساسی دارد.

۴. حرارت ناشی از تشعشع خورشیدی به وسیله اقیانوس‌ها و قاره‌ها جذب می‌شود. ولی کمیت حرارتی که به سطح می‌رسد، به خیلی چیزها بستگی دارد: میزان ابری بودن هوا، میزان نیروی انعکاسی سطح، قشر اوزون در استراتوسفر و مقدار گاز انیدرید کربنیک و غبار در تروپوسفر...

۵. فعالیت‌های درونی خورشید را هم، که بالا بودن آن گاهی ممکن است موجب اختلال در جریان عادی روندهای جوی شود، باید به حساب آورد.

همه آنچه را که تا این جا گفتیم، تنها درباره جو بود. ولی، اقیانوس‌ها هم وجود دارند، که تقریباً سه چهارم سطح سیاره را گرفته‌اند و قسمت عمده انرژی رسیده از خورشید را در خود ذخیره می‌کنند. در اقیانوس‌هم، دائماً طوفان‌هایی به وجود می‌آید و از بین می‌رود. جریان‌ها و ضد جریان‌های نیرومند سیاره‌ای، که مرتباً حرارت خود را به جو منتقل می‌کنند، «مشغول به کارند».

مناطق قطبی هم دارای اهمیت زیادی هستند. آن‌ها، آب‌های سرد را به منطقه‌های حاره «پس می‌دهند» و بر شدت جریان‌های سیاره‌ای در منطقه‌های معتدل، تأثیر اساسی می‌گذارند.

این‌ها است سیاهه کوتاهی از عامل‌هایی که برای پیش‌بینی درازمدت وضع هوا، باید به حساب گرفته شود. ولی، با همه این دشواری‌ها، دانشمندان به تلاش خود ادامه می‌دهند: «چشم‌ها می‌ترسند، ولی دست‌ها عمل می‌کنند». در سال‌های اخیر دانشمندان توانسته‌اند گرانبهاترین مدارک را برای ساختن نظریه و مدل‌های ریاضی دینامیک جو، جمع‌آوری کنند. پیشرفت‌های بعدی در این مورد، چه از نظر پژوهش‌های نظری و چه از جنبه علمی آن، بستگی به کم و کیف آگاهی‌های جو شناسی دارد. در این باره، دانشمندان به کار ماه‌واره‌های جو شناسی که هم اینک به طرزی مؤثر وارد در خدمت هواشناسی شده‌اند، امید زیادی دارند. کم و کیف آگاهی‌هایی که از این ماه‌واره‌ها به دست می‌آید، روز به روز بیشتر می‌شود و برنامه‌هایی در دست انجام است تا نقش این تهیه‌کنندگان آگاهی‌ها را به طور اساسی گسترش دهند. سازمان

بین‌المللی هواشناسی هم برآن است که در سال‌های ۱۹۷۸ - ۱۹۸۰ برنامه بزرگی در زمینه بررسی‌های جو شناسی اجرا کند.

●  
انگلیسی‌ها ضرب‌المثلی دارند به این مضمون که «من امروز چترم را برنمی‌دارم، چون هواشناسی اعلام کرده است که باران می‌بارد». در همه جای جهان، مردم به‌خاطر ناباوری که از پیش‌گوئی‌های هواشناسی دارند، لطیفه‌های طنزآمیز و نیش‌داری ساخته‌اند، ولی، ما حالا می‌فهمیم که هواشناسان در واقع به چه کار دشوار و عظیمی مشغول‌اند و با چه دشواری‌هایی سروکار دارند.

زمانی بود که بشر عادت داشت فیلسوفانه چشم‌ها را ببندد و در باره پدیده‌های طبیعی تنها «بیندیشد». این زمان، بیشتر زمان تخیلات و موهومات است. سده‌های بسیار گذشت تا بشر متوجه شد که تنها «اندیشه» کافی نیست و برای این که آدمی بداند درباره چه چیزی می‌اندیشد، باید چشم‌ها را باز کند و به «مشاهده» پردازد، خیلی زود معلوم شد که «مشاهده» هم باید با «آزمایش» و «آمارگیری» همراه باشد تا جنبه‌های گوناگون پدیده‌ها مورد بررسی قرار گیرد.

چنین است راهی که بشر را از موهومات و خرافات، به آستانه دانش واقعی می‌رساند.

و امروز زمان به‌ریاضی درآوردن دانش‌هاست و دانش هواشناسی هم در این میان استثنا نیست.

و تردیدی نیست که بشر خواهد توانست در این راه هم، مثل همه راه‌های دیگر خود، به مقصود برسد.

●  
**بعضی توضیح‌ها**

**پیش‌گوئی انوری**

شعری را که در ابتدای مقاله آمده است، با اختلاف‌هایی در کلمات



و مصرع‌ها به فریدکاتب نسبت داده‌اند، و گویا او آن را به‌خاطر پیش‌گویی انوری در مورد وقوع توفان در سال ۵۸۲ سروده است.

از قریب سی سال پیش از آن تاریخ، جمعی از منجمان خراسان و جاهای دیگر پیش‌گویی کرده بودند که در سال ۵۸۲ بعد از هجرت، هفت (یا شش) سیاره در برج میزان جمع می‌شوند و در نتیجه توفان عظیمی روی می‌دهد و خاك را به‌قدر سه‌گز (یا ده یا بیست گز) از روی زمین می‌کند و ساختمان‌ها را ویران می‌کند. حتی جمعی، حدیث از پیامبر نقل کردند که از حضرتش پرسیدند قیامت کی خواهد بود؟ فرمود القیامة که حروف آن به حساب ابجد برابر ۵۸۲ می‌شود  $(۱ + ۳۰ + ۱۰۰ + ۱۰ + ۱)$ .  $(۵۸۲ = ۴۰۰ + ۴۰ + ۱ + ۱)$ .

در نتیجه، مردم خوش‌باور در تمام کشورهای اسلامی در صدد چاره برآمدند و زیر زمین‌ها و سردابه‌های خود را محکم کردند و در جستجوی غارها و پناه‌گاه‌ها برآمدند تا از خطر توفان در امان بمانند؛ و با آن که بسیاری از افراد صاحب فضل، از قبیل فریدنسوی (شاید همان فریدکاتب باشد؟)، ظهیر فارابی، امام فخر رازی و دیگران مطالبی در باطل بودن این پیش‌گویی نوشتند و از فارابی و ابن‌سینا و خیام در باطل بودن علم احکام نجوم شاهد آوردند، هیچ سودی نکرد. البته به‌احتمال بسیار زیاد و تقریباً به‌طور یقین انوری در آن هنگام زنده نبود، تا غلط بودن پیش‌گویی خود را ببیند. ضمناً باید گفت در دیوان انوری هیچ شعری دیده نمی‌شود که حاکی از این پیش‌گویی باشد، و این مطلب روایت از دیگران است.

برای آگاهی بیشتر در این باره نگاه کنید به کتاب تاریخ و فرهنگ تألیف محقق فقید مجتبی‌مینوی. در مورد برخی پیش‌گویی‌های نجومی نگاه کنید به چهار مقاله نظامی عروضی؛ و به مقالات تاریخی، تألیف نصرالله فلسفی. در مورد قران کواکب غیر از مقاله مینوی، برای اطلاعات فنی نگاه کنید به گاهنامه سید جلال‌الدین تهرانی، سال ۱۳۱۱.

\*\*\*

### هواشناسی در نزد ایرانیان

در فرهنگ اسلامی کتاب‌های مربوط به هواشناسی را آثار علوی،

احداث جو یا کائنات جو می نامیدند. برخی از این آثار به زبان فارسی در دست است که در کتاب نامه علم ایران (تألیف غلام حسین صدری افشار، تهران، از انتشارات مرکز مدارك علمی مؤسسه تحقیقات و برنامه ریزی علمی و آموزشی، ۱۳۵۰) معرفی شده است، از قبیل آثار علوی از محمد بن مسعود مروزی (سده ششم)، ابوحاتم مظفر اسفزاری (سده پنجم)، محمد حسین شیروانی (سده یازدهم)، و کتابی از يك نویسنده ناشناس مربوط به سده دوازدهم.

در این جا نمونه ای از آثار علوی مظفر اسفزاری چاپ استاد محمد تقی مدرس رضوی را می آوریم: «فصل دوم: اندر برف - هرگاه که بخاری اتفاق افتد که از آب گرم متولد گردد و به بالا رود و به هوای سرد رسد و برودت به افراط بروی غالب شود و آن بخار را ببنداند، پیش از آن که آب شود همچنان به زمین آید، آن جوهر را برف گویند.

و اختلاف اشکال از چند گونه است: یکی آن که اجزاء صغار تولد کنند و باد آن اجزاء را به هم پیونداند، چون به هم پیوند جملت به زمین آید و چون برودت بر قدری مستولی شود و آن بخار را ببنداند، جرم این بخار کمتر شود. آن نقصان که در وی آید آن جوهر را متشنج گرداند و اگر آن تشنج او به سه جانب باشد، شکل برف مثلث گردد؛ و اگر چهار جهت، مربع گردد؛ و اگر از شش جهت، مسدس گردد؛ و به هیچ وجه به خمس نشود و آن را سبب طبیعی هست که این جایگاه جای بیان آن نیست. و اگر چنان است که این تشنج همه جوانب بود آن برف مدور آید...»

\*\*\*

### حکایت

اگر چه حکم حجة الحق عمر (یعنی عمر خیام) بدیدم، اما ندیدم او را در احکام نجوم هیچ اعتقادی، و از بزرگان هیچ کس ندیدم و نشنیدم که در احکام اعتقادی داشت.

در زمستان سنه ثمان و خمسایه (۵۰۸) به شهر مرو سلطان کس فرستاد به خواجه بزرگ صدرالدین محمد بن مظفر رحمة الله که «خواجه امام عمر

را بگوی تا اختیاری کند که به شکار رویم که اندر آن چند روز برف و باران نیاید؛ و خواجه امام عمر در صحبت خواجه بود، و در سرای او فرود آمدی. خواجه کس فرستاد و او را بخواند و ماجرا با وی باز گفت، برفت و دو روز در آن کرد و اختیاری نیکو کرد و خود برفت و با اختیار سلطان را بر نشاند؛ و چون سلطان بر نشست و يك بانگ زمین برفت، ابر در کشید و باد برخاست، و برف و دمه در ایستاد، خنده‌ها کردند، سلطان خواست که باز گردد، خواجه امام گفت: «پادشاه دل فارغ دارد، که همین ساعت ابر باز شود و در این پنج روز هیچ نم نباشد». سلطان براند و ابر باز شد و در آن پنج روز هیچ نم نبود و کس ابر ندید.

احکام نجوم اگر چه صنعتی معروف است اعتماد را نشاید، و باید که منجم در آن اعتماد دوری نکند، و هر حکم که کند حواله با قضا کند.

چهار مقاله، چاپ معین، ص ۱۰۲

\*\*\*

### احکام هواشناسی

بیاورد «دی» و «دل» باد و برف و «لر» سرما

چنان که «هخ» مطر و «سل» سحاب و «یخ» گرما پیشینیان، عقیده داشتند اگر میان عطارد و مشتری مناظره باشد دلیل وزیدن باد است؛ و اگر مناظره میان عطارد و زحل اتفاق افتد برف می بارد؛ و در صورت مناظره زحل و قمر (ماه) هوا سرد می شود. همچنین مناظره زهره و مریخ دلیل باریدن باران؛ مناظره شمس (خورشید) و زحل نشانه هوای ابری؛ و مناظره مشتری و مریخ علامت گرم شدن هواست.

نقل از گناهنامه سال ۱۳۱۱

مناظره یعنی این که سیاره‌ای نسبت به سیاره دیگر در زاویه ۱۸۰ یا ۹۰ یا ۶۰ یا ۳۰ درجه واقع شود. کلماتی که داخل « » چاپ شده، از حرف آخر نام پنج سیاره (مریخ، مشتری، زهره، زحل، عطارد) و قمر و شمس تشکیل شده است. مثل دی یعنی عطارد و مشتری، و دل یعنی عطارد و زحل... در گناهنامه پس از نقل شعر و مطلب بالا، که ما مختصر آن را

آوردیم، دلایل محکمی در رد این حکم آورده است.

\*\*\*

### چرا در هوای ابری همیشه باران نمی‌بارد؟

ابرها از قطره‌های آب و یا از بلورهای یخی تشکیل شده‌اند، که هر دو از هوا سنگین‌ترند. واقع این است که در هوای ابری همیشه باران می‌بارد ولی قطره‌های آن تا وقتی که به اندازه معینی نرسیده است، به زمین نمی‌رسند (جریان‌های صعودی هوا، این قطره‌ها را در ارتفاع معینی نگاه می‌دارد). گذشته از آن، این قطره‌ها، ضمن نزدیک شدن به سطح زمین، در اثر گرما بخار و غیر قابل دیدن می‌شود. اما اگر قطره‌ها به اندازه‌ای درشت باشند که بتوانند مقاومت هوا را دفع کنند، آنوقت در زمین باران خواهد بارید.

\*\*\*

### گردباد (سیکلون) و ضد گردباد (آنتی سیکلون) چیست؟

بسیاری از مردم، وقتی وضع هوا را در روزنامه‌ها می‌خوانند، یا از رادیو می‌شنوند و یا از خبرهای مربوط به بوران‌ها و گردبادهای قریب الوقوع آگاه می‌شوند، گمان می‌کنند که گردباد، یعنی باد بسیار شدید، ولی، این درست نیست. البته، در گردبادها، قسمت‌هایی وجود دارد که در آن، باد بسیار نیرومند است، ولی، در هر گردباد، جاهائی هم هست که در آن‌ها، باد خیلی ضعیف است و یا اصلاً وجود ندارد. گردباد، عبارت است از منطقه‌ای با فشار کم که دستگاه بادهای دورانی، آن را فرا گرفته باشد. در گردبادها، هوای نزدیک به سطح زمین در وسط جمع می‌شود و علت آن هم، کمی فشار در قسمت مرکزی آن است. حرکت دورانی (در نیم کره شمالی در جهت مخالف حرکت عقربه‌های ساعت و در نیم کره جنوبی در جهت موافق آن) هوا هم، نتیجه‌ای از چرخش زمین به دور محور خود است. گردباد، گاهی ناحیه‌های بزرگی را، که قطر آن از ۱۰۰۰ کیلومتر تجاوز می‌کند، دربر می‌گیرد. به همین علت، در این گردبادها، معمولاً شدت باد زیاد نیست. در سرزمین‌های گرم‌سیری، گردبادها از نظر مساحت چندان بزرگ نیستند، ضمناً تفاوت فشار هوا در مرکز و کناره‌های آن خیلی زیاد است و به همین علت، باد در این موارد اغلب شدتی طوفانی دارد.

هوا در گردبادها معمولاً گرفته است و اغلب باران یا برف می بارد. علت این امر آن است که هوا در نزدیکی مرکز گردباد به بالا صعود می کند، در آن جا سرد می شود و مازاد رطوبت به صورت باران یا برف نزول می کند. گردبادها، با سرعتی بسیار زیاد تغییر جا می دهند (با سرعتی بین ۳۵ تا ۳۵ کیلومتر در ساعت) و در نتیجه، هوای سرزمین هایی که در سر راه آن قرار دارد، دستخوش دگرگونی می شود. فشار هوا، همراه با نزدیک شدن مرکز گردباد، کم می شود. «هواسنج پایین می آید» - این، به معنای نزدیک بودن باران است. اما اگر رطوبت کافی نباشد و یا میزان حرارت هوا بالا باشد، ممکن است «هواسنج» اشتباه بکند.

ضد گردباد (آنتی سیکلون)، از هر جهت نقطه مقابل گردباد است. در گردباد، هوا به وسیله بادهای دوزانی به مرکز رانده می شود، ولی در ضد گردباد برعکس، از مرکز به اطراف پراکنده می شود. در گردباد، هوا معمولاً ابری است، اما در ضد گردباد، غالباً صاف است. هنگام ضد گردباد، در نیم کره شمالی، بادهای در جهت حرکت عقربه های ساعت و در نیم کره جنوبی در خلاف آن می وزند.

بر فراز مرکز ضد گردباد، ستونی از هوا، که جریانی نزولی دارد، تشکیل می شود. این هوا با نزدیک شدن به زمین گرمتر می شود و رطوبت موجود در آن، تبدیل به بخاری نامشهود می گردد و به این ترتیب، آسمان از پوشش ابری آزاد می شود. هوایی که پایین می آید در نزدیکی سطح زمین به اطراف پراکنده می شود.

هرچند وضع هوا، به جابه جایی گردبادها و ضد گردبادها بستگی دارد، لیکن تنها با آگاهی از نزدیک بودن گردباد، نمی توان نزدیکی نزول باران را پیش بینی کرد. لازم است، به جز آن، معلوم باشد که چه قسمتی از گردباد یا ضد گردباد، از محل مورد نظر عبور می کند.

\*\*\*

### چند آگاهی جالب

\* بیشترین بارندگی در روی زمین به طور متوسط بیش از ۱۲۶۶۰ میلیمتر در هند شرقی، در نزدیکی کوه های هیمالا یا - دقیق تر در ناحیه چیراپونچی

اتفاق می افتد. به زبان دیگر، اگر همه این آبها به رودخانهها نمی ریخت و یا در زمین فرو نمی رفت، می توانست همه سطح آن جا را به ارتفاع ۱۲/۶ متر فرا بگیرد.

\* خشکترین جاهای روی زمین، وادی الخلفا در جمهوری سودان، و صحرای آتاکاما در شیلی است. اگر در بعضی ناحیههای بیابانی، میزان بارندگی در حدود ۱ میلیمتر است، این مقدار تنها در عرض سه سال نصیب وادی الخلفا می شود.

\* گرمترین جای زمین محلی است در نزدیکی طرابلس در لیبی. در این محل، میزان حرارت تا ۵۸ درجه سانتیگراد در سایه، یادداشت شده است. \* پایینترین میزان حرارت کره زمین در سال ۱۹۶۰ در قطب جنوب، در پایگاه «واستولک» ثبت شده است: ۸۸/۳ درجه سانتیگراد زیر صفر.

\* جزایر ویکتوریا، بادخیزترین محل در روی زمین است. در این جا، سرعت باد، که در همه سال با شدت تمام می وزد، به ۸۰ متر در ثانیه می رسد.

\*\*\*

### احکام هواشناسی عامیانه

اگر هاله ای دور ماه را فرا گیرد علامت این است که باران خواهد بارید. هنگام غروب آفتاب اگر ابرها به رنگ سرخ باشند، می گویند فردا هوا خوب خواهد شد و برعکس اگر صبح ابرها سرخ رنگ باشند نشان بارندگی است.

از لحاظ شباهت به این امر و برای این که بدانند فردا هوا چگونه خواهد بود، شب هنگام چراغی را به آرامی فوت می کنند. اگر شعله سرخ باشد هوا خوب خواهد بود و اگر سفید باشد باران خواهد بارید. می گویند اگر شب باران یا برف بیارد تمام هفته بارندگی خواهد بود.

در خراسان عقیده دارند اگر طی ایام هفته هوا ابری باشد روز چهارشنبه مسلماً آفتابی خواهد بود. مردم مازندران معتقدند اگر به هنگام باران شغال زوزه بکشد و مگ به او پاسخ دهد هوا خوب خواهد شد و اگر سکوت کند باران ادامه خواهد داشت. از سوی دیگر، می گویند اگر هنگام

شب قورباغه درختی زیاد آواز بخواند علامت بارندگی است.  
کتاب فلك السعاده (ص ۷۴) يك رشته پیش‌گویی‌ها، درباره هوا ذکر کرده است که منشاء عامیانه دارد و براساس ستارگان، جانوران و گیاهان استوار است که ما اینک به ذکر آن می‌پردازیم:  
«ماه روشن و باریک در دومین یا چهارمین روز ماه: فردا هوا خوب خواهد شد.

ماه روشن در نیمه ماه قمری: هوا خوب خواهد شد.  
ماه سرخ رنگ علامت باد شدید است.  
اگر رنگ ماه مایل به سیاه باشد علامت باران است.  
اگر آفتاب هنگام برآمدن روشن باشد و یا پیش از برآمدن خورشید ابرهای پراکنده دیده شود و یا هنگام فرو رفتن خورشید آسمان صاف و بی‌ابر باشد و ابرها پس از برآمدن یا پس از فرو رفتن خورشید پدیدار شود نشانه خوبی هوا است.

اگر گنجشک زیر درخت زیاد جیک جیک بکند علامت بارندگی است.  
در آغاز و پایان ماه وقتی که دیگ را پس از پختن غذا از روی اجاق بردارند و شراره‌های فراوانی در قسمت تحتانی آن مشاهده کنند. علامت این است که بارندگی نزدیک است.

همینطور اگر مرغ خانگی زیاد خود را بخارد و فریاد بکند، وقتی که پرستو دور و بر آب می‌گردد و فریاد می‌کشد، وقتی که گاومیش رو به مغرب می‌ایستد و یکی از پاهای خود را کاملاً به زمین نمی‌گذارد، وقتی که گرگ‌های زیاد به محل‌های مسکونی می‌آیند، وقتی که موش ذخیره خود را از لانه بیرون می‌آورد، وقتی که ماه به راستی سرخ رنگ است، همه این‌ها نشانه سرما است.

اگر دو یاسه دایره سرخ در ماه دیده شود علامت سرمای شدید است.  
اگر مگس‌ها زیاد در خانه وز وز کنند، اگر گوسفندان در چراگاه به جست و خیز پردازند، اگر نور چراغ خیلی پریده باشد، همه این‌ها علامت سرماست.

اگر پرندگان بیایند و زیر درختان آب‌تنی کنند علامت سرما و باران

است.

اگر درخت بلوط و بوته فلفل میوه زیاد داشته باشند، زمستان طولانی خواهد بود، و همینطور است اگر الاغ رو به مغرب بایستد و زمین را به سم خود بکند و به آسمان نگاه کند.»

از کتاب معتقدات و آداب ایرانی نوشته هانری ماسه  
ترجمه مهدی روشن ضمیر، از انتشارات مؤسسه تاریخ  
و فرهنگ ایران. صفحه ۳۱۵ - ۳۱۷.

خواننده علاقه مند در این زمینه می تواند به کتاب های فرهنگ عامیانه  
از قبیل نیرنگستان، عادات و رسوم مردم فارس، عادات و رسوم مردم کرمان  
و مانند این ها مراجعه کند.

\*\*\*

باد هر کجا که می خواهد می وزد و صدای آن را می شنوی . لیکن  
نمی دانی از کجا می آید و به کجا می رود.

انجیل یوحنا



**انتشارات هدهد**

تهران. صندوق پستی ۵۴۱ - ۳۴